



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

DISSERTAÇÃO

ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO E APLICAÇÃO FOLIAR DE REJEITO DE CAULIM NO CULTIVO DE FEIJÃO-CAUPI

ANNA REBECA SILVA NÓBREGA

CAMPINA GRANDE, PB

2024

ANNA REBECA SILVA NÓBREGA

**ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO E APLICAÇÃO FOLIAR DE REJEITO DE
CAULIM NO CULTIVO DE FEIJÃO-CAUPI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadores: Prof. Dr. José Dantas Neto – UAEEA/CTR/UFCEG

Prof.^a Dr.^a Maria Sallydelândia de Farias Araújo – UAEEA/CTR/UFCEG

CAMPINA GRANDE, PB

2024

N754e

Nóbrega, Anna Rebeca Silva.

Estratégias de irrigação e aplicação foliar de rejeito de caulim no cultivo de feijão-caupi / Anna Rebeca Silva Nóbrega. – Campina Grande, 2024.

51 f. ; il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.

"Orientação: Prof. Dr. José Dantas Neto, Profa. Dra. Maria Sallydelândia de Farias Araújo".

Referências.

1. Feijão (*Vigna unguiculata (L.) Walp*) – Cultura. 2. Déficit Hídrico. 3. Estresse Abiótico. 4. Manejo de Irrigação. 5. Saneamento Ambiental. 6. Irrigação e Drenagem. I. Dantas Neto, José. II. Araújo, Maria Sallydelândia de Farias. III. Título.

CDU 635.652(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

ANNA REBECA SILVA NÓBREGA

“ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO E APLICAÇÃO FOLIAR DE REJEITO DE CAULIM NO CULTIVO DE FEIJÃO-CAUPI”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 02/08/2024

Jose Dantas Neto - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Maria Sallydelândia Sobral de Farias - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Vera Lucia Antunes de Lima - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

André Alisson Rodrigues da Silva - Examinador(a) Externo(a) - PDJ/UFCG



Documento assinado eletronicamente por **André Alisson Rodrigues da Silva, Usuário Externo**, em 26/08/2024, às 17:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSÉ DANTAS NETO, Usuário Externo**, em 27/08/2024, às 18:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARIA SALLYDELANDIA DE FARIAS ARAUJO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 28/08/2024, às 18:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA, PROFESSOR 3 GRAU**, em 29/08/2024, às 15:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4738303** e o código CRC **91364083**.

Referência: Processo nº 23096.046515/2024-15

SEI nº 4738303

À minha amada família sempre presente, Ivo Araújo da Nóbrega, Maria Ronaide da Silva Nóbrega, Pedro Ivo Silva da Nóbrega e Ramon Moraes e Montenegro.

DEDICO

“(...) Aprendi o segredo de viver contente em toda e qualquer situação (...). Tudo posso naquele que me fortalece. A nosso Deus e Pai seja a glória para todo o sempre. Amém.”

Filipenses 4:12,13,20

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu Pai e Senhor, pela graça de viver para a Sua glória! Pela força, paz, saúde, alegrias, conquistas e vitórias. Glória a Deus por tudo!

Aos meus pais amados, Ivo e Ronaide, que sempre estiveram comigo nessa caminhada, cheios de amor e cuidado, intercedendo por mim e se fazendo presente em todos os momentos.

Ao meu querido e amado irmão, Pedro Ivo, por toda ajuda, apoio, conselho, orientação, paciência, oração e amor. És minha inspiração pra seguir em frente, sua vida me motiva.

Ao meu noivo, Ramon, por me apoiar e confiar em mim independente da situação, pelas orações, cuidado, amor, companheirismo e incentivo pra continuar.

Aos meus queridos amigos e família, Yuri e Amanda, por todo carinho e apoio. À minha família ACEV, por todo apoio, motivação e oração.

Aos meus orientadores tão queridos, Dr. José Danta Neto e Dr.^a Maria Sallydelândia (minha querida Sally), por cada orientação, conselho, dedicação, abraço, carinho e ensinamentos únicos. Muito obrigada por confiarem em mim.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), pela oportunidade de realizar o Mestrado Acadêmico e pela disponibilidade de espaço para realização da pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo, que tanto auxiliou na jornada acadêmica.

A todos os professores do PPGEA, por tantos ensinamentos passados e pelo incentivo a crescer. Em especial, aos professores Vera Antunes, Luciano Saboya e Carlos Azevedo, que sempre me incentivaram a continuar a jornada acadêmica.

Aos membros da banca examinadora, Dr.^a Vera Antunes e Dr. André Alisson, juntamente aos meus queridos orientadores, pela disposição e contribuições valiosas para melhoria do meu trabalho.

Aos meus companheiros de pesquisa e amigos, Mayra Gislayne, André Alisson, Joelson e João Pedro, pela equipe incrível que formamos e por todo auxílio durante a pesquisa. Sem vocês não teria conseguido alcançar esse resultado.

Aos funcionários do PPGEA e do bloco LEID, Roberto, Marciano, Branco e Barack, por cada auxílio, prestatividade e boas conversas.

Meus profundos e sinceros agradecimentos a todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização dessa conquista. Meu muito obrigada!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
RESUMO.....	IX
ABSTRACT	X
1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS.....	12
2.1 GERAL	12
2.2 ESPECÍFICOS	12
3. REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO FEIJÃO-CAUPI.....	13
3.1.1 Aspectos gerais da cultura	13
3.1.2 Aspectos socioeconômicos	14
3.2 TOLERÂNCIA DO FEIJÃO-CAUPI AO ESTRESSE HÍDRICO	16
3.3 CARACTERIZAÇÃO DO REJEITO DE CAULIM	18
3.3.1 Características gerais do rejeito de caulim	19
3.3.2 Uso agrícola do rejeito de caulim	20
4. MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	22
4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	23
4.3 UNIDADE EXPERIMENTAL.....	24
4.4 SEMEADURA E ADUBAÇÃO.....	25
4.5 MANEJO DA IRRIGAÇÃO	26
4.6 APLICAÇÃO DO REJEITO CAULIM	27
4.7 TRATOS CULTURAIS E FITOSSANITÁRIOS	28
4.8 VARIÁVEIS ANALISADAS	29
4.8.1 Variáveis de crescimento.....	29
4.8.2 Variáveis fisiológicas	29
4.8.3 Variáveis de produção	31
4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
7. REFERÊNCIAS	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição dos tratamentos avaliados.	24
Tabela 2. Características físico-hídricas e químicas do solo utilizado na pesquisa.....	25
Tabela 3. Consumo hídrico médio das plantas de feijão caupi durante a condução do experimento para os diferentes tratamentos de lâminas de irrigação.	27
Tabela 4. Composição química do rejeito de caulim utilizado na pesquisa.	27
Tabela 5. Autovalores, porcentagem de variância total explicada, análise de variância multivariada (MANOVA) entre as variáveis originais e os componentes principais. ...	33
Tabela 6. Coeficientes de correlação (r) entre as variáveis originais e os componentes principais (CP1 e CP2).	33
Tabela 7. Valores médios das variáveis analisadas aos 45 DAS de acordo com os tratamentos aplicados.	35
Tabela 8. Resumo da análise de variância para as variáveis teor de carotenoides (CAR), índice de grãos (IG) e massa seca das folhas (MSF) de plantas de feijão-caupi cultivadas sob diferentes estratégias de irrigação e aplicação foliar de rejeito de caulim.	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Temperatura máxima e mínima e umidade relativa média do ar observada no interior da casa de vegetação durante o experimento.	23
Figura 2. Distribuição dos vasos na área experimental.	25
Figura 3. Aspecto das folhas com a aplicação foliar de rejeito de caulim.	28
Figura 4. Projeção bidimensional dos escores dos componentes principais para os fatores lâminas de irrigação e aplicação foliar de rejeito de caulim (A) e das variáveis analisadas (B) nos dois componentes principais (CP1 e CP2).....	34
Figura 5. Massa seca das folhas (MSF) aos 45 DAS com (C1) e sem (C0) aplicação foliar de rejeito de caulim.....	42

NÓBREGA, A. R. S. Estratégias de irrigação e aplicação foliar de rejeito de caulim no cultivo de feijão-caupi. 2024. 51p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Irrigação e Drenagem). Universidade Federal de Campina Grande. Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola. Campina Grande, PB.

RESUMO

A escassez de água em regiões semiáridas se destaca como o principal fator ambiental limitante da produtividade das plantas. Diante desse desafio, o manejo eficiente dos recursos hídricos e a adoção de estratégias mitigadoras se tornam cruciais para garantir a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola. Sendo assim, essa pesquisa tem como objetivo avaliar o efeito das diferentes lâminas de irrigação e aplicação foliar de rejeito de caulim sobre o crescimento, os parâmetros fisiológicos e a produção da cultivar de feijão-caupi BRS Tapaihum. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no campus I da Universidade Federal de Campina Grande. Os tratamentos consistiram de quatro lâminas de irrigação - L (50, 75, 100 e 125% da Evapotranspiração Real – ETr) e duas concentrações de rejeito de caulim – C (0 e 50 g L⁻¹), distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 4 x 2, com oito repetições e uma planta por parcela, perfazendo o total de 64 unidades experimentais. Foram avaliadas variáveis de crescimento, fisiológicas e de produção do feijão-caupi, sendo os dados submetidos à análise de componentes principais. A irrigação com a lâmina de 125% da ETr influenciou positivamente no crescimento das plantas de feijão-caupi, enquanto que a lâmina de 100% da ETr favoreceu a produção do feijoeiro, apresentando os maiores valores nas variáveis de produção analisadas. A pulverização foliar de rejeito de caulim, relacionado à lâmina de 75% da ETr, promoveu o maior valor de altura das plantas, e, quando associado à lâmina de 50% da ETr, proporcionou os maiores valores dos teores de clorofila e do teor relativo de água. Além disso, o rejeito de caulim vinculado à lâmina de irrigação requerida pela cultura (100% da ETr), apesar de proporcionar o maior comprimento de vagem e o maior número de grãos por vagem, não resultou na maior produção total, obtida no tratamento com a lâmina de 100% da ETr sem a aplicação foliar de rejeito de caulim (L3C0). Os tratamentos não afetaram significativamente o teor de carotenoides e o índice de grãos.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* (L.) Walp, déficit hídrico, estresse abiótico, manejo de irrigação, saneamento ambiental.

NÓBREGA, A. R. S. Irrigation strategies and foliar application of kaolin waste in cowpea cultivation. 2024. 51p. Dissertation (Master's Degree in Agricultural Engineering - Irrigation and Drainage). Federal University of Campina Grande. Academic Unit of Agricultural Engineering. Campina Grande, PB.

ABSTRACT

Water scarcity in semiarid regions stands out as the main environmental factor limiting plant productivity. Faced with this challenge, efficient management of water resources and the adoption of mitigating strategies become crucial to ensure the sustainability of agricultural production systems. Therefore, this research aims to evaluate the effect of different irrigation depths and foliar application of kaolin waste on the growth, physiological parameters, and production of the cowpea cultivar BRS Tapaihum. The experiment was conducted in a greenhouse on campus I of the Federal University of Campina Grande. The treatments consisted of four irrigation depths - L (50, 75, 100, and 125% of Actual Evapotranspiration - ETr) and two concentrations of kaolin waste - C (0 and 50 g L⁻¹), distributed in a completely randomized design, in a 4 x 2 factorial arrangement, with eight replicates and one plant per plot, totaling 64 experimental units. The growth, physiological, and production variables of cowpea beans were evaluated, and the data were subjected to principal component analysis. Irrigation with a depth of 125% of ETr positively influenced the growth of cowpea plants, while a depth of 100% of ETr favored the production of the bean, presenting the highest values in the production variables analyzed. Foliar spraying of kaolin waste, related to a depth of 75% of ETr, promoted the highest value of plant height, and, when associated with a depth of 50% of ETr, provided the highest values of chlorophyll content and relative water content. Furthermore, kaolin waste associated with the irrigation depth required by the crop (100% of ETr), despite providing the greatest pod length and the greatest number of grains per pod, did not result in the greatest total production, obtained in the treatment with the 100% ETr depth without the foliar application of kaolin waste (L3C0). The treatments did not significantly affect the carotenoid content and grain index.

Key words: *Vigna unguiculata* (L.) Walp, water deficit, abiotic stress, irrigation management, environmental sanitation.

1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata (L.) Walp*), também conhecido como feijão de corda ou feijão macassar, dentre outros nomes populares, é uma leguminosa de origem africana, caracterizada pelo alto valor alimentar de seus grãos, sendo fonte de proteína vegetal, ferro, zinco, carboidratos, vitaminas e aminoácidos (Soares et al., 2021). Nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, essa leguminosa é uma das mais consumidas, sendo comumente produzida por agricultores familiares, com sua importância relacionada à composição da base alimentar dessas populações e à contribuição para a geração de emprego e renda (Ferreira et al., 2021).

Ademais, o Brasil está entre os principais produtores de feijão-caupi do mundo, com produção de 705,1 mil toneladas e produtividade de 537,67 kg ha⁻¹ na safra de 2023/2024 (CONAB, 2024a). Essa leguminosa é amplamente produzida no semiárido brasileiro, sendo o Nordeste considerado a maior região produtora do país, com estimativa de uma área cultivada de 1.033,3 mil hectares e produção total de 469,9 mil toneladas na safra 2023/24, com o estado da Paraíba apresentando a sétima maior produção de feijão-caupi no cenário nacional (Nascimento et al., 2022; CONAB, 2024c; Souza et al., 2024).

Entretanto, a limitação hídrica presente nas regiões semiáridas se caracteriza como um dos principais fatores limitantes para a produção de feijão-caupi, visto que a deficiência hídrica ocasiona reduções significativas quanto aos aspectos de crescimento, produção e fisiologia do feijoeiro (Soares et al., 2021; Souza et al., 2024). Diante disso, o estudo da sensibilidade das plantas a diferentes condições hídricas e a busca por alternativas que minimizem os efeitos do estresse hídrico são fundamentais para o uso racional e eficaz dos recursos hídricos (Barbosa et al., 2020; Barros et al., 2021). Nesse contexto, a aplicação foliar de rejeito de caulim surge como uma estratégia promissora para mitigar os efeitos negativos do estresse hídrico (Roda et al., 2023).

O rejeito de caulim é o resíduo gerado no processo de extração e beneficiamento do caulim, que normalmente é lançado indiscriminadamente no ambiente, desencadeando impactos ambientais negativos sobre o solo, o ar, os recursos hídricos, a flora e a fauna (Melo et al., 2020; Alves et al., 2021). Dessa forma, o uso desse resíduo em outras áreas, como na produção agrícola, contribui para a melhor gestão de resíduos dentro das empresas mineradoras, proporcionando uma destinação adequada desse rejeito e evitando a geração de impactos ambientais, cumprindo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Almeida et al., 2023; ONU, 2024).

No contexto agrícola, o rejeito de caulim tem se mostrado eficaz no controle de pragas agrícolas (Herrera-Feijoo e Vélez, 2023), além de ser utilizado como constituinte de substratos na produção de mudas de espécies vegetais, apresentando melhoria no crescimento e qualidade das mudas (Oliveira et al., 2014; Melo et al., 2020; Alves et al., 2021). Ainda, esse resíduo tem sido estudado como um agente antitranspirante capaz de aumentar a eficiência do uso da água, mostrando que a aplicação foliar de rejeito de caulim pode atenuar os efeitos negativos do estresse hídrico no cultivo de batatas (Mahmoud et al., 2020), de oliveiras (Brito et al., 2021), de nozes (Mahmoudian et al., 2021), de amêndoas (Gharaghani et al., 2023) e de uvas (Cao et al., 2023). Todavia, ainda não se encontram pesquisas sobre a utilização desse resíduo na cultura do feijão cultivado sob diferentes lâminas de irrigação.

Diante do exposto, torna-se crucial a busca por alternativas sustentáveis que visem diminuir os efeitos deletérios causados pelo estresse hídrico no desenvolvimento de plantas de feijão-caupi. Nesse contexto, destaca-se a aplicação foliar de rejeito de caulim como uma estratégia promissora e inovadora, com potencial para auxiliar no cultivo do feijoeiro em diferentes cenários de disponibilidade hídrica. De modo que, com a realização de investigação científica rigorosa, conhecimentos sejam gerados e resulte no fornecimento de subsídios técnicos para o manejo eficiente da cultura do feijão-caupi, contribuindo para a sustentabilidade da produção e para a segurança alimentar.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar o efeito da aplicação foliar de rejeito de caulim na mitigação do estresse hídrico sobre o crescimento, fisiologia e produção de feijão-caupi BRS Tapaihum.

2.2 ESPECÍFICOS

- Mensurar o crescimento das plantas de feijão-caupi BRS Tapaihum em função das lâminas de irrigação e aplicação foliar de rejeito de caulim;
- Verificar a influência de diferentes lâminas de irrigação e da pulverização foliar de rejeito de caulim na cultivar de feijão-caupi BRS Tapaihum quanto aos teores de pigmentos fotossintéticos, a porcentagem de extravasamento de eletrólitos e ao teor relativo de água;

- Analisar a produção das plantas da cultivar de feijão-caupi BRS Tapaihum submetidas a diferentes estratégias de irrigação e pulverização foliar de rejeito de caulim.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO FEIJÃO-CAUPI

3.1.1 Aspectos gerais da cultura

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), conhecido no Brasil como “feijão-de-corda”, “feijão-macassar”, “feijão-fradinho”, “feijão-miúdo”, entre outros nomes populares, é uma leguminosa herbácea, de ciclo anual, com produção de frutos do tipo vagem, tendo a África como centro de origem, e é cultivada principalmente nas áreas secas dos trópicos, com destaque para a América, África e Sul da Ásia (Ferreira e Silva, 2022; Souza et al., 2024). Nessas regiões, trata-se de uma valiosa fonte de proteína vegetal, carboidratos e minerais na dieta alimentar de milhões de pessoas e apresenta significativa importância socioeconômica para os produtores dessa cultura (Nunes et al., 2021).

Botanicamente, se caracteriza como uma leguminosa dicotiledônea, pertencente a ordem *Fabales*, família *Fabaceae*, subfamília *Faboideae*, tribo *Phaseoleae*, subtribo *Phaseolineae*, gênero *Vigna*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp (Demartelaere et al., 2021). O feijão-caupi apresenta sistema radicular pivotante, bastante desenvolvido, e, na presença de bactérias do gênero *Rhizobium*, tem a capacidade de adquirir nitrogênio da atmosfera por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN), processo que ocorre em estruturas especializadas, denominadas nódulos (Nascimento et al., 2022). Além disso, é uma planta hermafrodita, autógama e possui propagação sexuada, apresentando flores com coloração que pode variar de branca-lilás, branca com tons amarelo e branca, de acordo com a variedade, sendo formada por duas pétalas que protegem as partes sexuais (Freire Filho e Ribeiro, 2023).

O porte da planta de feijão-caupi, importante no entendimento da estrutura e crescimento da planta, é determinado mediante a avaliação do comprimento e o ângulo entre o ramo principal e os secundários, podendo ser classificado em quatro tipos: ereto, semiereto, semiprostrado e prostrado (Silva et al., 2020). Essa leguminosa pode apresentar o hábito de crescimento determinado ou indeterminado, sendo esse o modo pelo qual a planta exhibe o crescimento do caule e florescimento (Rocha, 2021).

O ciclo dessa leguminosa, que reflete no tempo necessário para o desenvolvimento da planta desde a germinação até a completa maturação das vagens, pode ser categorizado em diferentes estágios de maturação, classificados como: superprecoce, que atinge a maturação em até 60 dias; precoce, com maturação entre 61 e 70 dias; médio, com maturação entre 71 e 90 dias; e tardio, com maturação acima de 90 dias (Rocha, 2021).

O desenvolvimento do feijão-caupi é marcado por duas fases bem distintas: a fase vegetativa, o qual compreende o período desde a semeadura (V0) até o surgimento da primeira folha trifoliolada com os folíolos separados e completamente abertos (V9), e a fase reprodutiva, que inclui desde a abertura da primeira flor (R1) até a maturação de 90% das vagens da planta (R5) (Campos et al., 2000; Soares et al., 2021).

Trata-se de uma planta de estação quente, com a faixa de temperatura adequada para o cultivo de feijão-caupi variando entre 18 °C e 34 °C, sendo a temperatura ideal para o seu crescimento situada em torno de 28 °C (Melo et al., 2022). Temperaturas baixas, inferiores a 18°C, exercem efeito negativo na produtividade do feijão-caupi, retardando o surgimento de flores e prolongando o ciclo da cultura; enquanto que a exposição a temperaturas excessivas, acima de 34 °C, durante o crescimento e desenvolvimento dessa cultura, pode resultar no aborto de flores e na redução da produtividade de vagens e grãos (Barros et al., 2021; Bastos, 2021).

Essa leguminosa se destaca como uma das principais alternativas de cultivo no semiárido brasileiro, adaptando-se bem às condições de estiagem e de déficit hídrico (Souza et al., 2024). O feijão-caupi é cultivado em sistemas de produção diversificados, sob diferentes condições de clima, solo, cultivares e nível tecnológico (Ferreira e Silva, 2022). Além disso, a produção de grãos pode ser obtida em cultivos de sequeiro e irrigados (Ribeiro et al., 2022). A cultura de feijão-caupi requer de 300 a 450 mm de água por ciclo, de acordo com o solo, as condições climáticas locais e o ciclo da cultivar, de forma que o consumo hídrico diário pode variar de 3,0 a 4,0 mm na fase inicial de desenvolvimento; de 5,0 a 6,5 mm por dia entre o pleno crescimento e o enchimento de vagens; e de 3,0 a 3,5 mm por dia na fase final do ciclo (Andrade Júnior, 2021).

3.1.2 Aspectos socioeconômicos

O feijão é uma leguminosa originária do continente africano, rica em proteína vegetal, energia, fibras e minerais, sendo uma cultura importante nas regiões tropicais do mundo, com alto valor social e econômico, especialmente quanto a geração de renda e emprego (Oliveira et al., 2015; Barros et al., 2021; Jales Filho et al., 2022). No Brasil,

trata-se da principal cultura de autoconsumo do Nordeste, considerada como um componente básico na dieta alimentar da população dessa região (Almeida et al., 2020; Souza et al., 2024).

O Brasil é o segundo produtor mundial de feijão, apresentando três safras por ano, favorecendo a oferta constante do produto, sendo a primeira com colheita de novembro a abril; a segunda, com colheita de abril a julho, com destaque para a região Nordeste; e a terceira, com colheita de julho a outubro (Coêlho, 2023). A produção total de feijão no país, somando as três safras de 2023/24, deverá atingir 3.267,6 mil toneladas, 7,6% superior à produção de 2022/23, com produtividade de 1.143 kg ha⁻¹ em uma área cultivada de 2.857,8 mil hectares (CONAB, 2024a).

São cultivados cerca de 14 tipos de feijão nos estados brasileiros, sendo mais conhecidos o carioca, o preto e o caupi, além dos feijões de cores. No Brasil, o feijão-caupi é amplamente utilizado em várias regiões, com destaque para o semiárido brasileiro devido a sua adaptação climática e potencial produtivo tanto para a agricultura familiar, quanto para o setor empresarial (Soares et al., 2021). Sua comercialização apresenta preços atrativos para agricultores familiares e empresariais, visando à expansão do consumo e processamento industrial (Almeida et al., 2020).

Apenas na segunda safra do feijão, é previsto uma alta de 26,3% no volume a ser colhido, impulsionado pelo cultivo do feijão-caupi, que deve registrar uma colheita de 462,8 mil toneladas, com crescimento na área cultivada de 4,9% e a melhora de 20,6% no desempenho das lavouras (CONAB, 2024b). Em âmbito nacional, as três safras de 2023/24 deverá atingir a produção total de 705,1 mil toneladas de feijão-caupi, com produtividade média de 537,67 kg ha⁻¹, em uma área de cultivo de 1.273,1 hectares (CONAB, 2024a).

Com ciclo reprodutivo rápido e custos de produção relativamente baixos, o feijão-caupi é utilizado para diversos fins, com destaque no mercado nacional na forma de grãos secos (mercado principal) para os mercados interno e externo, sementes e vagens verdes e grãos verdes (frescos ou hidratados), além de um mercado potencial para a produção de farinha, grãos para enlatamento e congelamento de vagens para salada (Pimenta et al., 2023). O mercado de grãos secos para o mercado interno é o que predomina no Brasil, no entanto, as exportações têm aumentado nos últimos três anos, com a ampliação da área e a crescente adoção da cultura pelo agricultor empresarial (Rocha, 2021).

O feijão-caupi é uma das leguminosas mais cultivadas e consumidas no Norte e Nordeste do Brasil, com destaque dessas regiões na produção nacional diante de suas

condições climáticas e de solo favoráveis à cultura (Almeida et al., 2020; Carvalho et al., 2023). Em termos de área cultivada com feijão-caupi no Brasil, a região Nordeste deve apresentar uma área de 1.033,3 mil hectares na safra 2023/24, 3,3% superior a área cultivada na safra 2022/23, sendo a região com maior área cultivada com essa leguminosa (CONAB, 2024c).

O Nordeste brasileiro se caracteriza por ser o maior produtor de feijão-caupi, com produção total estimada em 496,9 mil toneladas na safra 2023/24, 30,5% superior a safra anterior, com destaque para os estados da Bahia, Ceará e Piauí como sendo os maiores produtores no cenário nacional, com produção prevista de 156,8, 129,9 e 83,9 mil toneladas, respectivamente (CONAB, 2024c). Ainda quanto à estimativa para a safra 2023/24, em uma área cultivada de 74,4 mil hectares, o Estado da Paraíba deverá atingir a produção de 37 mil toneladas de feijão-caupi, obtendo uma produtividade média de 497 kg ha⁻¹ (CONAB, 2024c).

Em contrapartida, apesar de ser a maior região produtora de feijão-caupi, a região Nordeste apresenta a menor produtividade quando comparado às demais regiões brasileiras, com valor estimado de 466 kg ha⁻¹ para a safra de 2023/24, 26,4% superior a produtividade obtida na safra 2022/23 (CONAB, 2024c). Nesse contexto, a disponibilidade de água no solo se mostra como um dos fatores que comumente reduz a produtividade do feijão-caupi nessa região, sendo a irrigação responsável pelo aumento da produtividade e qualidade dessa leguminosa durante os anos (Soares et al., 2021; Souza et al., 2024).

3.2 TOLERÂNCIA DO FEIJÃO-CAUPI AO ESTRESSE HÍDRICO

A região semiárida apresenta grande variação no padrão e total anual de chuvas, resultando na necessidade de irrigação para atingir níveis de rendimento satisfatórios no cultivo de diferentes culturas agrícolas, além de apresentar elevados índices de radiação solar e temperatura do ar (Melo et al., 2022). Nesse contexto, o conhecimento de culturas que sejam tolerantes às condições de restrições hídricas é essencial para o sucesso agrícola nessa região. As leguminosas se mostram como uma parte importante do sistema de cultivo de subsistência nas regiões áridas e semiáridas do mundo, com destaque para o feijão-caupi por ser uma planta com boa adaptabilidade a essas regiões (Choudhary et al., 2013; Narayana e Angamuthu, 2021; Melo et al., 2022).

Por ser tolerante a ambientes quentes e propensos à seca, além de ter associação com bactérias fixadoras de nitrogênio, o cultivo de feijão-caupi pode ser realizado em

locais com precipitações anuais em torno de 300 mm (Ferreira e Silva, 2022). Entretanto, na região semiárida brasileira, apesar do cultivo dessa leguminosa ser comumente realizado durante o curto período chuvoso, diante da variabilidade anual das chuvas nessa região, a produtividade dessa cultura é frequentemente comprometida (Souza et al., 2024; Ferreira e Silva, 2022).

Entende-se, assim, que as condições ambientais têm grande interferência no desenvolvimento das plantas, sendo o déficit hídrico um dos principais fatores que limitam o rendimento das culturas (Carvalho et al., 2022). Embora o feijão-caupi seja uma leguminosa adaptada às condições semiáridas, com moderado grau de tolerância ao déficit hídrico, a disponibilidade hídrica inadequada e as altas temperaturas presentes durante o seu ciclo de desenvolvimento podem impactar negativamente na produção dessa cultura (Barros et al., 2021). Segundo Souza et al. (2020), déficits hídricos na fase reprodutiva superiores a 47 mm, pode provocar uma queda na produtividade do feijão-caupi superior a 20%.

O requerimento hídrico do feijão-caupi é variável com o seu estágio de desenvolvimento e genótipos, de forma que a disponibilidade hídrica inadequada em uma ou nas múltiplas fases de desenvolvimento da planta pode afetar a produtividade dessa cultura (Soares et al., 2021; Jales Filho et al., 2022). Além disso, a ausência de quantidade adequada de água no solo afeta as atividades fisiológicas e bioquímicas da planta, variando de acordo com a frequência e intensidade com que a água está em quantidade inadequada para a cultura (Carvalho et al., 2022; Melo et al., 2022).

No início da fase vegetativa, a diminuição do conteúdo de água celular desestabiliza as estruturas celulares. No caso da membrana do tilacoide, por exemplo, a desidratação provoca redução nos teores de clorofila, pigmentos fotossintéticos necessários na conversão da energia luminosa em carboidratos (Khadouri et al., 2020). Além disso, o dano causado às estruturas celulares induz a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) durante o início do crescimento vegetativo. Esse aumento de EROs estimula a síntese de carotenoides, pigmentos que protegem as plantas contra danos oxidativos. Contudo, o acúmulo de EROs pode trazer consequências graves quanto à biomassa da parte aérea e radicular e a altura das plantas (Melo et al., 2022).

Ao final da fase vegetativa do feijão-caupi, a restrição hídrica diminui a condutância estomática e compromete os processos fotossintéticos, de forma que diminui a perda de água por transpiração e induz a um declínio na taxa fotossintética líquida (Melo et al., 2022). Ademais, a deficiência hídrica durante o ciclo produtivo da cultura, promove

reduções significativas na área foliar, altura das plantas, produção de massa seca, massa da vagem, número de vagens por planta e número de grãos por vagem, impactando o crescimento e produção do feijão-caupi (Soares et al., 2021).

Para minimizar os efeitos da disponibilidade hídrica inadequada, as plantas utilizam de estratégias de manutenção do conteúdo interno de água para proteger as estruturas celulares e mitigar os efeitos deletérios do acúmulo de EROs (Jales Filho et al., 2022). Para além desse aspecto, as plantas de feijão-caupi desenvolveram um metabolismo antioxidante eficiente, de forma que as enzimas antioxidantes controlam os níveis de EROs em concentrações adequadas para a função celular, promovendo mudanças importantes no mecanismo de tolerância ao déficit hídrico (Melo et al., 2022; Jales Filho et al., 2022).

Logo, como forma de elevar a produtividade da cultura, baixar os custos de produção e elevar a renda do produtor rural, visando à rentabilidade e à eficiência do sistema de cultivo, é fundamental a adoção do manejo adequado da disponibilidade hídrica para a cultura (Oliveira et al., 2015; Souza et al., 2024). Além disso, diversas práticas de manejo podem melhorar a acessibilidade da umidade armazenada no solo, minimizando condições de escassez hídrica (Soares et al., 2021). Associados a práticas de manejo que contribuem para o desenvolvimento da cultura, diferentes estudos já foram desenvolvidos com a cultura do feijão-caupi e têm demonstrado o potencial produtivo da cultura em múltiplas estratégias de disponibilidade hídrica.

Barros et al. (2021), utilizando a cultivar Carijó de feijão-caupi, diante de diferentes lâminas de irrigação, observou que, diante do aumento da disponibilidade hídrica para a cultura de feijão-caupi, a produção de massa seca da parte aérea e da raiz foi favorecida. Soares et al. (2021), estudando diferentes estratégias de manejo de déficit hídrico e doses de adubação potássica na cultivar BRS Marataoã, concluiu que a aplicação do déficit hídrico associado às doses de potássio favoreceu o crescimento e o acúmulo de fitomassa na fase de floração da cultura. Souza et al. (2024), pesquisando sobre o feijão-caupi diante de quatro níveis de evapotranspiração da cultura, obteve que os parâmetros de produção do feijão-caupi obtiveram os melhores resultados a 80 e 100% da evapotranspiração da cultura.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO REJEITO DE CAULIM

3.3.1 Características gerais do rejeito de caulim

A mineração se caracteriza como um grande setor econômico com relevância na geração de emprego e renda, considerada como uma atividade econômica importante no atendimento das demandas da sociedade, fornecendo insumos para os setores da indústria metalúrgica, siderúrgica, química, construção civil, dentre outros (Sousa et al., 2021). O caulim, minério composto de silicatos hidratados de alumínio, tem o seu uso destinado a vários mercados mundiais, com uma ampla variedade de aplicações em cobertura e carga de papel, cerâmica, tintas, plásticos, borracha, fibras de vidro, suporte de catalisadores de craqueamento de petróleo, dentre outras (Melo et al., 2020; Silva et al., 2021).

As reservas de caulim no mundo são consideradas abundantes e distribuídas geograficamente em países de grande relevância mundial. Cerca de 95% das reservas estão concentradas em apenas quatro países, sendo esses os Estados Unidos (53%), Brasil (28%), Ucrânia (7%) e Índia (7%), com uma produção total mundial de aproximadamente 15 bilhões de toneladas, sendo as reservas brasileiras responsáveis por cerca de 4,2 bilhões de toneladas, com destaque para os Estados do Pará, Amazonas e Amapá (Silva et al., 2021). No Nordeste, a extração de caulim é intensa na Província Pegmatítica Borborema/Seridó, reconhecida nacionalmente pelas suas peculiaridades e diversidade de substâncias minerais existentes em seu subsolo, sendo localizada entre os estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, com as operações de extração sendo realizadas principalmente nos municípios de Junco do Seridó-PB e Equador-RN (Sousa et al., 2021).

O caulim (filossilicato de alumínio – $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) apresenta granulometria grosseira, baixa plasticidade e resistência mecânica à seca, em geral de cor branca, devido ao baixo teor de óxido de ferro, além de ser quimicamente inerte em uma ampla faixa de pH, macio e não abrasivo, com capacidade de cobertura quando usado como pigmento, com baixa condutividade térmica e elétrica (Silva et al., 2021). Ademais, o caulim é um mineral argiloso solúvel em água, que apresenta em sua composição o silicato de alumínio, considerado um produto natural, inerte e seguro para o meio ambiente, sendo autorizado para uso em sistemas de cultivo orgânico (Bestete et al., 2018).

Entretanto, determinados ramos da mineração têm promovido grandes impactos ambientais relacionados aos grandes volumes gerados de resíduos ou subprodutos que, em grande maioria, são lançados indiscriminadamente no ambiente sem que sejam submetidos a tratamento prévio, desencadeando a diversos problemas ambientais (Alves et al., 2021). Dentre as atividades mineradoras, a extração e beneficiamento do caulim tem gerado impactos ambientais negativos sobre o solo, o ar, os recursos hídricos, a flora

e a fauna, diante do expressivo volume de resíduos produzidos, o qual é estimado em cerca de 60 a 80% do material de caulim que é extraído e beneficiado (Melo et al., 2020; Alves et al., 2021).

Diante dessa problemática, as empresas do setor mineral buscam melhorar a gestão de resíduos, incentivando estudos sobre a reutilização do resíduo de caulim em diversas áreas, tais como a construção civil, a agricultura, a indústria siderúrgica, química e metalúrgica (Silva et al., 2021; Almeida et al., 2023; Gonçalves et al., 2024). A destinação adequada desse resíduo traz soluções que se enquadram nos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como, por exemplo, o objetivo 2, referente à fome zero e à agricultura sustentável, e o objetivo 12, referente ao consumo e à produção sustentáveis. Esses objetivos se apresentam como um apelo global à ação para a proteção do meio ambiente, entre outras finalidades, contribuindo para que o Brasil possa atingir as propostas da Agenda 2030 (ONU, 2024).

3.3.2 Uso agrícola do rejeito de caulim

O caulim tem se destacado como um material que pode ser utilizado nos cultivos agrícolas como componente de substratos na produção de mudas e diretamente nas plantas mediante aplicação foliar. Neste caso, é criada uma película de partículas brancas nas folhas, age como antitranspirante reflexivo, reduz a transpiração das plantas, além de apresentar impacto positivo na mitigação de estresses ambientais, aumentando o rendimento de culturas agrícolas e se mostrando como um material eficaz e ecologicamente correto no controle fitossanitário (Abdallah, 2017; Nazim et al., 2021; Teker, 2023).

Distintos trabalhos mostram a importância do caulim no crescimento, fisiologia e produção de diferentes culturas agrícolas. Mahmoud et al. (2020), analisando o efeito da pulverização foliar de caulim no cultivo de batata, registram que os maiores valores de clorofila a, b e total, de carotenoides e o maior rendimento de tubérculos foram observados com a aplicação da maior dose de caulim (10 cm³ L⁻¹). Nazim et al. (2021), avaliando o efeito da aplicação foliar de caulim no algodão sob condições de déficit hídrico, observaram que o caulim melhorou a área foliar, a altura, a massa seca e o rendimento do algodoeiro. Abdallah (2017), estudando o impacto da pulverização foliar de caulim no cultivo de tomate sob condições de déficit hídrico, observou que o caulim melhorou as atividades fisiológicas e a produção comercializável.

No meio agrícola, o rejeito de caulim ainda tem ganhado destaque no controle de pragas, diante de sua capacidade de formar uma película protetora nas folhas após a sua aplicação, o que impede a alimentação e a oviposição, prejudicando a fixação e locomoção do inseto na superfície das folhas, reduzindo, conseqüentemente, a sobrevivência desses animais (Bestete et al., 2018). O caulim provou, ainda, ser eficaz no controle de diversas pragas agrícolas, como pulgões, percevejos, mosca branca e cigarrinhas, proporcionando uma alternativa menos prejudicial em comparação aos pesticidas químicos tradicionais (Herrera-Feijoo e Vélez, 2023).

O resíduo de caulim também se destaca no setor agrícola sendo utilizado como constituinte de substratos na produção de mudas de algumas espécies vegetais, como verificado em diferentes trabalhos. Oliveira et al. (2014) verificaram que a utilização de substrato constituído por uma mistura de 40% de terra de subsolo e 60% de rejeito de caulim resultou em melhorias na qualidade de mudas de jenipapo (*Genipa americana L.*). Melo et al. (2020), objetivando avaliar o potencial de resíduos minerais como componente de substrato para a produção de mudas de mamoeiro, utilizando o resíduo de caulim, observaram que com a proporção de 30% de resíduo de caulim no substrato proporcionou maior crescimento e qualidade das mudas de mamoeiro (*Carica papaya L.*). Alves et al. (2021) observaram que o rejeito de caulim utilizado como constituinte do substrato na composição de 30% foi responsável pelos maiores valores nas variáveis de crescimento das mudas de paineira.

Recentemente, a pulverização de caulim tem sido amplamente utilizada para aliviar os efeitos adversos da seca e das altas temperaturas (Gharaghani et al., 2023). O caulim, uma vez pulverizado como uma camada na superfície das folhas, deixa uma película protetora de partículas, mostrando respostas positivas no estado hídrico da planta e nos efeitos fotossintéticos, de rendimento e de qualidade de diferentes espécies vegetais (Brito et al., 2021). Esse filme de partículas de caulim, formado na pulverização foliar, foi inicialmente desenvolvido para o controle de pragas; mas, diante de diversas aplicações, observou-se o seu uso como agente antitranspirante na mitigação dos efeitos do estresse hídrico e salino nas plantas (Cao et al., 2023).

Antitranspirantes são compostos aplicados na superfície das folhas das plantas a fim de reduzir a transpiração, sendo utilizados também na proteção das folhas contra queimaduras proporcionadas pelos efeitos da salinidade e contra doenças fúngicas (Ekka et al., 2022). É aceito que a aplicação foliar de caulim sob certas condições reduz a temperatura da superfície da folha e a transpiração da planta, enquanto que aumenta a

eficiência do uso de água (Cao et al., 2023). Contudo, em condições ótimas de disponibilidade hídrica e em condições de pouca luz, como em dias nublados, foi observado que o caulim aplicado via foliar inibiu o desempenho máximo da planta (Brito et al., 2021).

Brito et al. (2021), a partir do uso de caulim, a fim de avaliar os efeitos do estresse hídrico em oliveiras, observaram que a aplicação foliar de caulim melhorou o estado hídrico da planta, diminuindo os danos oxidativos e aumentando o rendimento da cultura. Gharaghani et al. (2023), investigando a interação da irrigação deficitária e da pulverização foliar de caulim no cultivo de amêndoa, observaram que o uso de caulim melhorou o crescimento dos brotos, a eficiência do uso da água e o rendimento das plantas, com destaque para o regime de irrigação de 75% da necessidade hídrica da cultura, mas, diante de déficit hídrico severo, o caulim não conseguiu mitigar os efeitos adversos causados. Cao et al. (2023) concluíram que a pulverização foliar de caulim melhorou a eficiência do uso da água em videiras, apresentando o potencial para ser aplicado como um agente antitranspirante para melhorar a eficiência do uso de água e a qualidade dos frutos em regiões áridas e semiáridas.

Portanto, compreende-se que a pulverização foliar de caulim pode ser considerada uma solução prática e econômica para minimizar os efeitos adversos causados pelas altas temperaturas e radiações solares, além de melhorar a eficiência do uso de água nos cultivos agrícolas. Contudo, diante da escassez de estudos com culturas adaptadas à região semiárida brasileira, faz-se necessário ampliar as pesquisas sobre o uso de rejeito de caulim diante de diferentes estratégias de irrigação com essas culturas, a exemplo do feijão-caupi, a fim de avaliar os efeitos gerados no crescimento, fisiologia e produção das plantas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

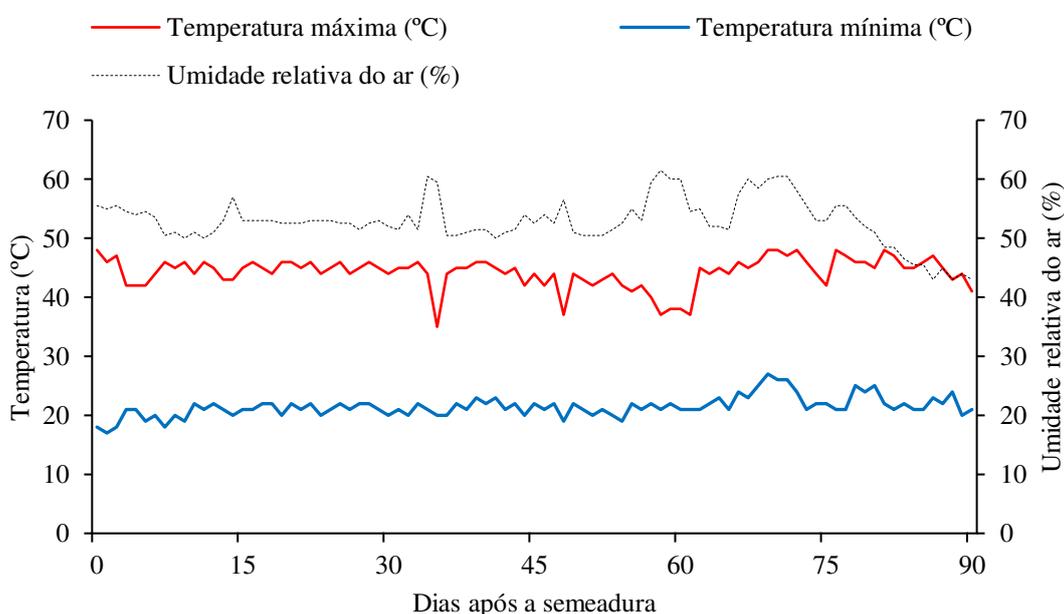
4.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi desenvolvido durante o período de outubro de 2023 a janeiro de 2024, em ambiente protegido do tipo casa de vegetação, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no Campus I, situado no município de Campina Grande, Paraíba, Brasil. O município está situado nas coordenadas geográficas 07°15'18'' de latitude Sul, 35°52'28'' de longitude Oeste e altitude média de 550 m, com predominância do clima mesotérmico, semiúmido, classificado de acordo com Köppen como do tipo CSa,

caracterizado por condições quentes e semiáridas com estações chuvosas (fevereiro a julho) e secas (agosto a janeiro) (Andrade et al., 2022). Além disso, apresenta precipitação média anual de 850 mm e a temperatura média é de 27 °C (Jales Filho et al., 2022).

A estufa utilizada foi do tipo arco, com 30 m de comprimento e 21 m de largura, com pé direito de 3,0 m, com cobertura de polietileno de baixa densidade (Nascimento et al., 2022). Os dados meteorológicos referentes a temperatura máxima e mínima e umidade relativa média do ar no interior da casa de vegetação durante o período experimental podem ser observados na Figura 1. Observa-se que a temperatura variou entre 17 °C e 48 °C, apresentando valores acima da faixa de temperatura (18 °C – 34 °C), recomendada para a cultura do feijão-caupi (Bastos, 2021).

Figura 1. Temperatura máxima e mínima e umidade relativa média do ar observada no interior da casa de vegetação durante o período experimental de 25 de outubro de 2023 a 23 de janeiro de 2024.



Fonte: Autora (2024)

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

Os tratamentos consistiram em quatro lâminas de irrigação - L (50, 75, 100 e 125% da Evapotranspiração Real – Etr) e duas concentrações de rejeito de caulim – C (0 e 50 g L⁻¹), distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 4 × 2 (Tabela 1), com oito repetições e uma planta por parcela, perfazendo o total de 64

unidades experimentais. A concentração de rejeito de caulim foi aplicada mediante pulverização foliar.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos avaliados.

Concentração de caulim (g L ⁻¹)	Lâminas de irrigação (% Etr)			
	L1 (50%)	L2 (75%)	L3 (100%)	L4 (125%)
C0 (0 g L ⁻¹)	L1C0	L2C0	L3C0	L4C0
C1 (50 g L ⁻¹)	L1C1	L2C1	L3C1	L4C1

Fonte: Autora (2024)

As lâminas de irrigação foram adaptadas do estudo de Carvalho et al. (2023) que avaliou a produção do feijão-caupi (*Vigna unguiculata (L.) Walp*) diante de diferentes níveis de irrigação. A dose de caulim (50 g L⁻¹) foi adaptada do estudo realizado por Bestete et al. (2018) e de uma pesquisa preliminar realizada durante o período de julho a setembro de 2023, utilizando a cultura da beterraba (*Beta vulgaris L.*) e aplicação foliar de rejeito de caulim, com resultados publicados posteriormente por Santos et al. (2024).

4.3 UNIDADE EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido utilizando vasos de polietileno com capacidade para 20 L adaptados como lisímetros de drenagem, que foram dispostos em fileiras simples, em espaçamento de 1 m entre linhas e 0,6 m entre plantas (Figura 2). A base do vaso foi preenchida com uma camada de 3 cm de brita (nº zero) e uma manta geotêxtil, a fim de evitar que o sistema de drenagem fosse obstruído pelo material de solo. Foi instalado um dreno em cada vaso, referente a uma mangueira transparente de 10 mm de diâmetro, acoplado na base do recipiente de modo a facilitar o processo de drenagem. Conectado ao dreno, foi colocado um recipiente plástico (garrafa pet) com capacidade de 2 L para a coleta da água drenada e estimativa do consumo de água pela planta.

Figura 2. Distribuição dos vasos na área experimental.



Fonte: Autora (2024)

Em cada vaso foram acondicionados 24 kg de material de solo apropriadamente destorroado. Esse solo apresenta textura franco arenosa, sendo oriundo do município de Lagoa Seca-PB, onde foi coletado na profundidade de 0-30 cm. O solo foi analisado no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no Campus de Campinha Grande-PB, para determinação das características físico-hídricas e químicas (Tabela 2), mediante a metodologia proposta por Texeira et al. (2017).

Tabela 2. Características físico-hídricas e químicas do solo utilizado na pesquisa.

Características físico-hídricas									
Fração Granulométrica (%)			Classe Textural	Umidade (%)		Porosidade (%)	Densidade do solo (g cm ³)		
Areia	Silte	Argila		base solo seco)	Água disponível			Natural	
60,66	28,17	11,17	FA	0,61	9,78	56,60	1,15		
Características químicas									
pH _{es}	M.O (%)	P (mg 100g ⁻¹)	K ⁺	Na ⁺	(cmol _c kg ⁻¹)				
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	
7,63	0,84	0,01	0,60	0,10	6,91	3,65	0,00	0,00	

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2023). FA – Franco Arenoso; pH_{es} - pH do extrato de saturação; M.O – Matéria orgânica; P – Fósforo assimilável; K⁺ - Potássio; Na⁺ - Sódio; Ca²⁺ - Cálcio; Mg²⁺ - Magnésio; Al³⁺ - Alumínio; H⁺ - Hidrogênio.

4.4 SEMEADURA E ADUBAÇÃO

Na pesquisa foram utilizadas sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) da cultivar BRS Tapaihum, que apresenta grãos de coloração preta e reniformes, de porte ereto e crescimento semideterminado, com ciclo de, aproximadamente, 65 a 70 dias, sendo comumente cultivada na região Nordeste (Almeida et al., 2020). A escolha da

cultura foi realizada devido a sua representatividade local e importância econômica para os agricultores da região.

Após a elevação da umidade do solo ao nível de retenção máxima nas unidades experimentais, utilizando água do abastecimento urbano de Campina Grande – PB, a semeadura foi realizada com cinco sementes por vaso a 3 cm de profundidade, distribuídas de forma equidistante. Quinze dias após a semeadura (DAS), foi realizado o desbaste, mantendo-se apenas uma planta por vaso.

A partir dos 15 DAS, foi realizada a adubação com nitrogênio, fósforo e potássio (N-P-K) conforme a recomendação de Novais et al. (1991), adotando, respectivamente, as quantidades de 100, 300 e 150 mg kg⁻¹ de solo, com 3 aplicações quinzenais. Foi utilizado o sulfato de amônio (21% de N e 24% de S), o MAP (60% de P₂O₅ e 12% de N) e o cloreto de potássio (60% de K₂O) como fonte de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente. Para o fornecimento de micronutrientes, foi utilizado o composto de Dripsol micro (Mg²⁺ = 1,1%; B = 0,85 %; Cu (Cu-EDTA) = 0,5%; Fe (Fe-EDTA) = 3,4 %; Mn (Mn-EDTA) = 3,2%; Mo = 0,05%; Zn = 4,2%; 70% de agente quelante EDTA) na concentração de 1 g L⁻¹, sendo realizadas 3 aplicações quinzenais de adubações foliares, pulverizadas nas faces adaxial e abaxial, com o auxílio de um pulverizador manual com capacidade para 2 L.

4.5 MANEJO DA IRRIGAÇÃO

As irrigações foram realizadas diariamente às 17 horas, utilizando a água proveniente de abastecimento urbano local, de forma manual, aplicando-se em cada vaso o volume de água estimado conforme os tratamentos. O volume aplicado em cada evento de irrigação foi estimado por meio de balanço hídrico, conforme a Equação 1.

$$CH = (Va - Vd)/(1 - FL) \quad \text{Equação 1}$$

Em que: CH – Consumo hídrico (L); Va – Volume de água aplicado nas plantas no dia anterior (L); Vd – Volume de água drenado, quantificado na manhã seguinte (L); FL – Fração de lixiviação, estimada em 10% a cada 15 dias.

O volume de água aplicado em cada estratégia de manejo foi determinado por meio do consumo das plantas sob 100% da ETr (Evapotranspiração Real), usando-se o método da lisimetria de drenagem (Bernardo et al., 2019). Logo, para a irrigação de cada

tratamento (50, 75, 100 e 125% da ETr), multiplicou-se o valor da ETr obtida pelo percentual de evapotranspiração do tratamento.

Durante a realização do experimento, o volume de água aplicado e drenado foi utilizado para a determinação do consumo hídrico das plantas de feijão-caupi, como observado na Tabela 3.

Tabela 3. Consumo hídrico médio das plantas de feijão caupi durante a condução do experimento para os diferentes tratamentos de lâminas de irrigação.

Lâmina de irrigação (% ETr)	Consumo hídrico	
	L por planta	mm por planta*
L1 (50%)	22,70	321,14
L2 (75%)	32,30	456,95
L3 (100%)	38,59	545,94
L4 (125%)	45,69	646,31

Fonte: Autora (2024). *Lâmina calculada levando em consideração a área do vaso utilizado no experimento (0,0707 m²).

4.6 APLICAÇÃO DO REJEITO CAULIM

O resíduo de caulim utilizado na pesquisa foi obtido em uma empresa privada de mineração situada no município de Equador-RN e encaminhado para análise de Espectroscopia de Fluorescência de Raios-X (FRX) na forma de pó solto no Centro de Referência em Tecnologia Mineral do Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN), município de Currais Novos-RN. Trata-se de um material residual fino resultante da operação de britagem de rochas basálticas. Na Tabela 4 é apresentado a composição química do rejeito de caulim utilizado na pesquisa.

Tabela 4. Composição química do rejeito de caulim utilizado na pesquisa.

Óxidos	%	Elementos	%
SiO ₂	58,98	Si	27,57
Al ₂ O ₃	15,02	Al	7,95
Fe ₂ O ₃	8,89	Fe	6,22
K ₂ O	6,39	K	5,31
CaO	4,06	Ca	2,90
P ₂ O ₅	2,75	Px	1,20
MgO	1,12	Mg	0,67
TiO ₂	1,01	Ti	0,61
Na ₂ O	0,90	Na	0,67
BaO	0,31	Ba	0,28
Co ₃ O ₄	0,15	Co	0,11
ZrO ₂	0,12	Zr	0,09
MnO	0,12	Mn	0,05
SrO	0,06	Sr	0,02

SO ₃	0,05	Sx	0,02
Cr ₂ O ₃	0,02	Cr	0,02
Rb ₂ O	0,02	Rb	0,01
ZnO	0,02	Zn	0,01
MoO ₃	0,01	Mo	0,01
Nb ₂ O ₅	0,01	Nb	0,01
NiO	0,01	Ni	0,01

Fonte: Autora (2024)

A dose de caulim (50 g L⁻¹) foi obtida a partir da dissolução do resíduo, pesado em balança analítica de 0,0001 g, em 1 L de água de abastecimento urbano. Foi utilizado um pulverizador manual, com capacidade para 2 L, utilizado na aplicação nas faces adaxial e abaxial das folhas (Figura 3). As aplicações foliares das doses de caulim foram realizadas a partir dos 15 dias após a sementeira, sendo realizadas quinzenalmente ao decorrer do ciclo da cultura. Durante a condução do experimento foram realizadas 3 aplicações foliares de rejeito de caulim.

Figura 3. Aspecto das folhas com a aplicação foliar de rejeito de caulim.



Fonte: Autora (2024)

4.7 TRATOS CULTURAIS E FITOSSANITÁRIOS

Foi realizado o monitoramento do surgimento de pragas e doenças, de modo que, havendo a necessidade, foram adotadas medidas de controle fitossanitários preconizados para a cultura. Também foram realizados tratamentos culturais regulares durante o período de condução do experimento, como capinas manuais semanais e escarificação superficial do solo, a fim de reduzir a competição entre plantas e promover o desenvolvimento da cultura.

4.8 VARIÁVEIS ANALISADAS

Os efeitos causados pelas diferentes lâminas de irrigação e pela aplicação foliar de rejeito caulim no cultivo irrigado de feijão-caupi foram avaliados mediante variáveis de crescimento, fisiológicas e de produção da cultura.

4.8.1 Variáveis de crescimento

As variáveis de crescimento foram avaliadas aos 45 DAS, incluindo altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF). A altura das plantas foi medida a partir do nível do solo até a gema apical do ramo principal, com o auxílio de uma régua graduada e foi expressa em centímetros. O diâmetro do caule foi medido a 2 cm do nível do solo, cujas leituras foram efetuadas na região do colo da planta com o auxílio de um paquímetro digital, sendo expresso em centímetros. O número de folhas foi realizado mediante contagem manual das folhas que apresentavam mais de 3 cm de comprimento. A área foliar foi estimada medindo o comprimento da nervura principal de cada folha, considerando apenas as folhas com comprimento mínimo de 3 cm, conforme a Equação 2 proposta por Grimes e Carter (1969).

$$Y = \sum (0,4322 X)^{2,3002} \quad \text{Equação 2}$$

Em que: Y é a área foliar por planta e X é o comprimento da nervura principal da folha.

Ao final do experimento, a produção de fitomassa foi avaliada nas distintas partes aéreas da planta (caule e folhas), as quais foram separadas e acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados, sendo levados para secagem em estufa de circulação de ar, mantida a 65°C, por 48 horas. Posteriormente, o material foi pesado em balança de precisão de 0,0001 g, obtendo-se a massa seca das folhas (MSF) e do caule (MSC), cujo somatório resultou na massa seca da parte aérea (MSA) (Barros et al., 2021).

4.8.2 Variáveis fisiológicas

4.8.2.1 Pigmentos fotossintéticos

O teor de clorofila *a*, *b*, *total* e carotenoides foram determinados aos 45 DAS. A quantificação desses pigmentos foi realizada de acordo com o método laboratorial desenvolvido por Arnon (1949), de forma que foram feitos extratos vegetais a partir de amostras de discos foliares de cada planta. Em cada amostra foram utilizados 12,0 mL de

Dimetil Sulfóxido (DMSO). A partir desses extratos, foram determinadas as concentrações de clorofila e carotenoides nas soluções por meio de espectrofotômetro nos comprimentos de onda de absorbância (ABS) (470, 647 e 663), por meio das seguintes equações:

$$Cl_a = (12,25 * ABS663) - (2,79 * ABS647) \quad \text{Equação 3}$$

$$Cl_b = (21,5 * ABS647) - (5,10 * ABS647) \quad \text{Equação 4}$$

$$Cl_t = (7,15 * ABS663) + (18,71 * ABS647) \quad \text{Equação 5}$$

$$Car = \frac{(1000 * ABS470) - (1,82 * Cl_a) - (85,02 * Cl_b)}{198} \quad \text{Equação 6}$$

Em que: Cl_a é o teor de clorofila a ; Cl_b é o teor de clorofila b ; Cl_t é o teor de clorofila *total*; e Car é o teor de carotenoides. Os valores obtidos de teores de clorofila a , b , total e carotenoides nas folhas foram expressos em $\mu\text{g mL}^{-1}$.

4.8.2.2 Extravasamento de eletrólitos (%EE)

O extravasamento de eletrólitos foi realizado aos 45 DAS. Para isso, a partir da coleta das folhas localizadas na parte mediana do caule, foi utilizado um perfurador de cobre para obtenção de 5 discos foliares de $1,54 \text{ cm}^2$, por unidade experimental. Os discos foram lavados e acondicionados em beakers contendo 50 mL de água destilada. Após isso, os beakers foram fechados com papel alumínio e acondicionados à temperatura de 25°C (temperatura ambiente) por 24 horas; em seguida, foi realizada a leitura da condutividade elétrica inicial (C_i), usando um condutivímetro de bancada. Posteriormente, os beakers foram conduzidos à estufa com ventilação forçada de ar e submetidas à temperatura de 90°C , durante 120 minutos, e, após resfriamento do seu conteúdo, foi medida a condutividade elétrica final (C_f).

Desta forma, a porcentagem de extravasamento de eletrólitos do limbo foliar foi expressa de acordo com a metodologia proposta por Scotti-Campos et al. (2013), conforme a Equação 7.

$$\%EE = \frac{C_i}{C_f} * 100 \quad \text{Equação 7}$$

Em que: %EE = porcentagem de extravasamento de eletrólitos (%); Ci = condutividade elétrica inicial (dS m⁻¹); Cf = condutividade elétrica final (dS m⁻¹).

4.8.2.3 Teor relativo de água (TRA)

Aos 45 DAS foi determinado o teor relativo de água. Para isso, foram coletados 5 discos foliares de 1,54 cm² das folhas localizadas na parte mediana de cada planta. Após serem coletados, esses discos foram pesados imediatamente, evitando perda de umidade, para obtenção da massa fresca (MF); em seguida, esses mesmos discos foram postos em beakers com 50 mL de água destilada, ficando armazenados por 24 horas. Posteriormente, foi retirado o excesso de água com papel toalha e os discos foram pesados, obtendo a massa túrgida (MT) das amostras. Depois disso, os discos foram condicionados em sacos de papel e colocados em estufa a 65 °C até atingir peso constante, obtendo, assim, a massa seca (MS) das amostras. O TRA foi obtido mediante a seguinte Equação 8, contida em Lima et al. (2015).

$$\text{TRA} = \frac{\text{MF} - \text{MS}}{\text{MT} - \text{MS}} \times 100 \quad \text{Equação 8}$$

Em que: MF, MS e MT representam, respectivamente, a massa fresca (g), a massa seca (g) e a massa túrgida (g); e TRA representa o teor relativo de água (%).

4.8.3 Variáveis de produção

Ao término do ciclo da cultura, foram avaliadas as seguintes variáveis de produção: número de vagens por planta (NVP), que foi estimado pela contagem do número total de vagens por planta; comprimento médio da vagem (CMV), que foi estimado o comprimento médio, em cm, de cinco vagens tiradas ao acaso de cada parcela; o número de grãos por vagem (NGV), que foi obtido da média da contagem dos grãos contidos nas cinco vagens tiradas ao acaso para a medição do CMV; produção total de grãos (PT), que foi determinada pela produção total de grãos em cada planta, expresso em g; e o índice de grãos (IG), que foi determinado a partir da relação entre a massa seca de vagens e grãos, utilizando-se a Equação 9, com a amostragem de cinco vagens por planta (Oliveira et al., 2015; Souza et al., 2024). A colheita foi iniciada quando as vagens estavam secas, ou seja, quando apresentaram coloração palha, típico para colheita de grãos secos.

$$IG = \frac{MG}{MV} * 100 \quad \text{Equação 9}$$

Em que: IG refere-se ao índice de grãos (%); MG refere-se a massa de grãos coletados em cinco vagens (g) e MV refere-se a massa total de cinco vagens (g).

4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A estrutura multivariada dos resultados foi analisada mediante a análise de componentes principais (ACP), a qual sintetiza a quantidade de informações relevantes contidas no conjunto de dados original em um menor número de dimensões, resultantes de combinações lineares das variáveis originais geradas a partir dos autovalores (λ) maiores que 1,0 na matriz de correlação, explicando mais de 10% da variância total, conforme Govaerts et al. (2007).

A partir da redução das dimensões, os dados originais das variáveis de cada componente foram submetidos à análise de variância multivariada (MANOVA) pelo teste de Hotelling (1947) a 0,05 de probabilidade para os tratamentos isolados (lâminas de irrigação e aplicação foliar de rejeito de caulim), assim como para a interação entre os fatores. Em cada componente principal (CP), foram mantidas somente as variáveis com coeficiente de correlação maior ou igual a 0,65 (Hair et al., 2009). Para a realização dessas análises estatísticas, utilizou-se o software Statistica v. 7.0 (Statsoft, 2004).

Os dados referentes às variáveis massa seca das folhas (MSF), teor de carotenoides (CAR) e índice de grãos (IG) foram retirados da análise multivariada por apresentarem autocorrelação, não atendendo os requisitos da análise de componentes principais. Esses dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk e ao teste de Bartlett para verificação da normalidade dos resíduos e da homogeneidade das variâncias. Posteriormente, foi realizada a análise de variância (ANOVA) ao nível de 0,05 de probabilidade e, em caso de significância, foi realizada a análise de regressão para os dados quantitativos e foi aplicado o teste de médias de Tukey ($p < 0,05$) para dados qualitativos. Nesse caso, para a análise estatística foi utilizado o software R (R Core Team, 2023) e o pacote AgroR (Shimizu et al., 2024).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O espaço multidimensional das variáveis originais foi reduzido para dois componentes principais (CP1 e CP2) com autovalores maiores que $\lambda \geq 1,0$, de acordo com Kaiser (1960). Os autovalores e a porcentagem de variação explicados por cada componente representaram conjuntamente 83,6% da variação total, sendo que o CP1 explicou 63,3% da variância total, contendo a maioria das variáveis analisadas, e o CP2 representou 20,3% da variância restante (Tabela 5). A interação entre as lâminas utilizadas e a aplicação de caulim (L \times C) influenciou significativamente os dois componentes principais (CP1 e CP2).

Tabela 5. Autovalores, porcentagem de variância total explicada, análise de variância multivariada (MANOVA) entre as variáveis originais e os componentes principais.

	Componentes principais	
	CP1	CP2
Autovalores	9,50	3,05
Porcentagem de variância total	63,3	20,3
Teste de Hotelling para as lâminas (L)	0,01	0,02
Teste de Hotelling para o caulim (C)	0,01	0,01
Teste de Hotelling para a interação (L \times C)	0,01	0,01

Fonte: Autora (2024). CP1 – Componente Principal 1; CP2 – Componente Principal 2.

As variáveis que apresentaram coeficientes de correlação superior a 0,65 ($r > 0,65$) foram consideradas relevantes. Assim, observa-se na Tabela 6 que as variáveis que tiveram maior poder discriminatório no CP1 foram: altura de planta (AP), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF), área foliar (AF), clorofila *b* (Cl *b*), porcentagem de extravasamento de eletrólitos (%EE), massa seca do caule (MSC), massa seca da parte aérea (MSA), número de vagens por planta (NVP), produção total (PT), comprimento médio de vagem (CMV) e número médio de grãos por vagem (NMG). Enquanto no CP2, as variáveis clorofila *a* (Cl *a*), clorofila *total* (Cl *t*) e teor relativo de água (TRA) apresentaram coeficiente de correlação superior a 0,65.

Tabela 6. Coeficientes de correlação (r) entre as variáveis originais e os componentes principais (CP1 e CP2).

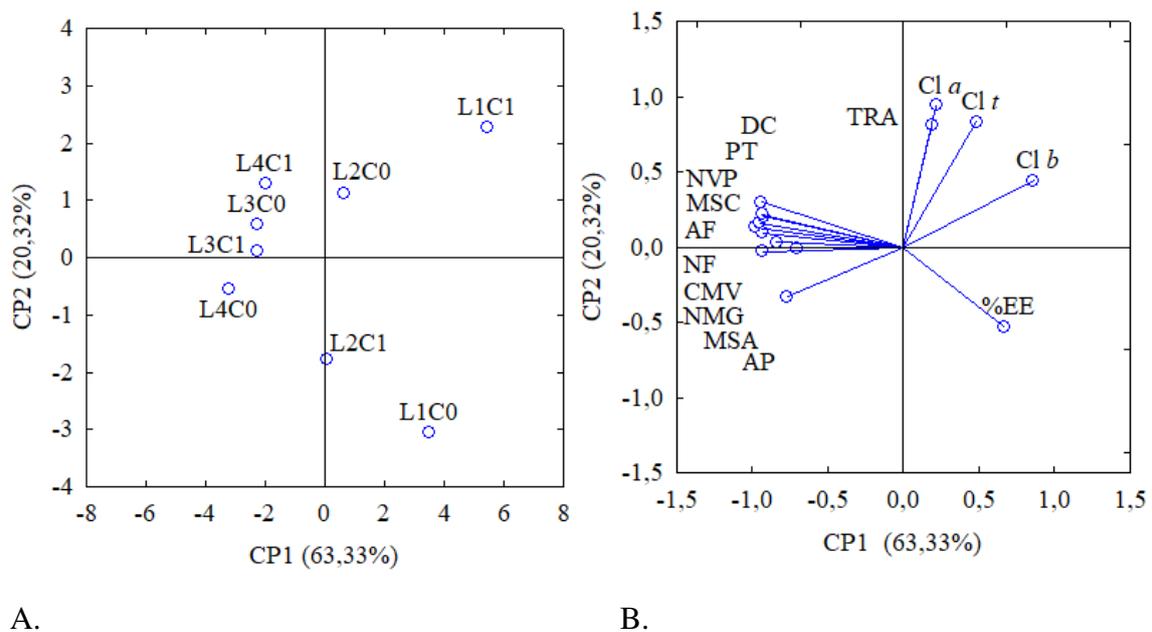
Variáveis	Coeficientes de correlação (r)	
	CP1	CP2
AP	-0,77	-0,33
DC	-0,94	0,30
NF	-0,93	0,09
AF	-0,98	0,13
Cl <i>a</i>	0,21	0,94
Cl <i>b</i>	0,86	0,44

Cl <i>t</i>	0,48	0,83
%EE	0,67	-0,53
TRA	0,19	0,81
MSC	-0,95	0,16
MSA	-0,93	-0,03
NVP	-0,92	0,21
PT	-0,93	0,22
CMV	-0,84	0,03
NMG	-0,70	-0,01

Fonte: Autora (2024). CP1 – Componente Principal 1; CP2 – Componente Principal 2; AP – altura de planta; DC – diâmetro do caule; NF – número de folhas; AF – área foliar; Cl *a* – clorofila *a*; Cl *b* – clorofila *b*; Cl *t* – clorofila *total*; %EE – extravasamento de eletrólitos; TRA – teor relativo de água; MSC – massa seca do caule; MSA – massa seca parte aérea; NVP – número de vagens por planta; PT – produção total; CMV – comprimento médio da vagem; NMG – número médio de grãos.

As projeções bidimensionais dos efeitos dos tratamentos e das variáveis no primeiro e segundo componente principal (CP1 e CP2) estão apresentados na Figura 4A e 4B. Verifica-se no componente principal 1 e no componente principal 2 um processo possivelmente caracterizado pelo efeito da interação entre as diferentes lâminas de irrigação e aplicação foliar de rejeito de caulim.

Figura 4. Projeção bidimensional dos escores dos componentes principais para os fatores lâminas de irrigação e aplicação foliar de rejeito de caulim (A) e das variáveis analisadas (B) nos dois componentes principais (CP1 e CP2).



Fonte: Autora (2024). L1C0 – lâmina de 50% da ETr sem aplicação de caulim; L1C1- lâmina de 50% da ETr com aplicação de caulim; L2C0 – lâmina de 75% da ETr sem aplicação de caulim; L2C1 – lâmina de 75% da ETr com aplicação de caulim; L3C0 – lâmina de 100% da ETr sem aplicação de caulim; L3C1 –

lâmina de 100% da ETr com aplicação de caulim; L4C0 – lâmina de 125% da ETr sem aplicação de caulim; L4C1 – lâmina de 125% da ETr com aplicação de caulim; AP – altura de planta; DC – diâmetro do caule; NF – número de folhas; AF – área foliar; Cl *a* – clorofila *a*; Cl *b* – clorofila *b*; Cl *t* – clorofila *total*; %EE – extravasamento de eletrólitos; TRA – teor relativo de água; MSC – massa seca do caule; MSA – massa seca parte aérea; NVP – número de vagens por planta; PT – produção total; CMV – comprimento médio da vagem; NMG – número médio de grãos.

A aplicação da lâmina de 125% da ETr destacou-se em comparação às demais lâminas de irrigação, obtendo maiores valores médios na maioria das variáveis (Tabela 7), tanto em plantas com a aplicação de rejeito de caulim, quanto nas plantas que não receberam a pulverização foliar de rejeito de caulim. Esse resultado reflete o fato de que o feijoeiro tende a apresentar rendimentos mais elevados diante da maior oferta de água, mesmo sendo uma leguminosa considerada tolerante ao déficit hídrico (Carvalho et al., 2023).

No componente principal 1, observa-se na Tabela 7 que as plantas irrigadas com a lâmina de 125% da ETr e que não receberam a aplicação foliar de rejeito de caulim (L4C0) apresentaram os maiores valores médios de diâmetro do caule (13,76 cm), número de folhas (60,38), área foliar (9863,03 cm²), massa seca da parte aérea (41,73 g) e número de vagens por planta (18,25). Ao comparar os resultados obtidos nas plantas do tratamento L4C0 com os obtidos nas plantas cultivadas sob o tratamento L4C1, observa-se incrementos de 2,50% (0,34 cm) no DC, 11,81% (6,38) no NF, 14,83% (1243,62 cm²) na AF, 13,21% (4,87 g) na MSA e 3,55% (0,63) no NVP, evidenciando que o rejeito de caulim não mostrou efeito positivo nessas variáveis de crescimento nas plantas de feijão-caupi quando associado a altas lâminas de irrigação.

Tabela 7. Valores médios das variáveis analisadas aos 45 DAS de acordo com os tratamentos aplicados.

Variáveis	Valores médios							
	L1C0	L1C1	L2C0	L2C1	L3C0	L3C1	L4C0	L4C1
AP	21,64	19,38	23,33	23,39	23,05	22,51	23,01	22,31
DC	10,52	11,14	12,66	12,47	13,35	13,11	13,76	13,42
NF	38,25	34,13	42,13	40,13	55,00	52,63	60,38	54,00
AF	4586,6	4189,2	6839,1	6505,7	8707,9	8419,6	9863,0	8619,4
Cl <i>a</i>	1137,9	1433,8	1338,2	1136,2	1307,0	1264,3	1160,3	1376,3
Cl <i>b</i>	579,81	675,87	584,85	512,89	548,16	515,64	465,68	546,60
Cl <i>t</i>	1717,75	2109,7	1923,1	1649,1	1855,2	1780,0	1625,9	1922,9
%EE	47,09	34,48	29,59	30,34	29,02	26,45	29,55	31,75
TRA	81,28	90,41	88,77	84,75	84,32	85,32	87,12	85,75
MSC	14,00	10,99	19,84	15,97	22,57	24,30	23,82	24,35
MSA	29,73	22,25	32,64	28,54	39,42	38,28	41,73	36,86

NVP	11,13	10,50	14,25	12,88	17,63	15,00	18,25	17,63
PT	28,11	27,15	40,19	37,82	53,04	42,43	50,00	50,00
CMV	19,97	20,10	20,50	22,01	22,04	22,42	21,46	21,90
NMG	10,99	10,19	11,55	12,42	12,03	14,03	11,41	13,25

Fonte: Autora (2024). L1C0 – lâmina de 50% da ETr sem aplicação de caulim; L1C1- lâmina de 50% da ETr com aplicação de caulim; L2C0 – lâmina de 75% da ETr sem aplicação de caulim; L2C1 – lâmina de 75% da ETr com aplicação de caulim; L3C0 – lâmina de 100% da ETr sem aplicação de caulim; L3C1 – lâmina de 100% da ETr com aplicação de caulim; L4C0 – lâmina de 125% da ETr sem aplicação de caulim; L4C1 – lâmina de 125% da ETr com aplicação de caulim; AP – altura de planta; DC – diâmetro do caule; NF – número de folhas; AF – área foliar; Cl *a* – clorofila *a*; Cl *b* – clorofila *b*; Cl *t* – clorofila *total*; %EE – extravasamento de eletrólitos; TRA – teor relativo de água; MSC – massa seca do caule; MSA – massa seca parte aérea; NVP – número de vagens por planta; PT – produção total; CMV – comprimento médio da vagem; NMG – número médio de grãos.

Além disso, verifica-se que as plantas submetidas ao tratamento com déficit hídrico (50% da ETr) e com a aplicação do rejeito de caulim (L1C1) apresentaram os menores valores médios de número de folhas (34,13), área foliar (4189,16 cm²), massa seca da parte aérea (22,25 g) e número de vagens por planta (10,50). Além disso, o menor valor médio de diâmetro de caule (10,52) foi observado nas plantas irrigadas com a lâmina de 50% da ETr e que não receberam a aplicação foliar de rejeito de caulim (L1C0).

Ainda no componente principal 1, é possível observar, na Tabela 7, que a irrigação com a lâmina de 75% da ETr e aplicação foliar de rejeito de caulim (L2C1) resultaram no maior valor médio de altura de planta (23,39 cm). Por outro lado, o uso da lâmina de irrigação de 125% da ETr e a aplicação foliar de rejeito de caulim (L4C1) nas plantas de feijão-caupi proporcionou o maior valor médio de massa seca de caule (24,35 g).

Compreende-se que a maior disponibilidade de água para a cultura permite o crescimento adequado das plantas (Carvalho et al., 2023). Observa-se, ainda, que a redução na disponibilidade de água no solo diminui a pressão de turgescência, reduzindo, assim, o fluxo de seiva pelos vasos condutores, diminuindo o alongamento celular, o crescimento das plantas e a produtividade (Souza et al., 2024). Além disso, a restrição hídrica diminui a abertura estomática e dificulta a assimilação de carbono no metabolismo fotossintético, o que prejudica o crescimento, a produção de massa seca e a expansão da área foliar (Melo et al., 2022).

Em concordância aos resultados obtidos, Mesquita et al. (2020), ao estudarem sobre os efeitos de diferentes lâminas de irrigação e a inoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio no cultivo de feijão-caupi, observaram que as lâminas de irrigação apresentaram, isoladamente, diferença significativa no diâmetro do caule do feijoeiro, de

forma que essa variável apresentou os maiores valores diante das maiores lâminas de irrigação e mostrou o menor valor quando as plantas de feijão-caupi foram submetidas a menor lâmina aplicada (40% da Evapotranspiração da cultura - ETc). Além disso, esses autores destacam que, à medida que os níveis de irrigação se aproximaram da ETc máxima da cultura, foi obtido um crescimento linear no número de folhas, independentemente da inoculação utilizada.

Mussato e Guimarães (2021) também destacaram que o aumento da disponibilidade hídrica resultou diretamente nos acréscimos do diâmetro do caule nas plantas de feijão-caupi, ressaltando que baixos níveis de água no solo podem proporcionar a diminuição do diâmetro do caule das plantas, dependendo de sua resistência a esse fator de estresse abiótico. Foi observado pelos autores, ainda, que o maior número de folhas ocorreu na maior disponibilidade hídrica (100%), com incremento de 20,56% comparando-se a menor disponibilidade hídrica (20%).

Quanto à altura de plantas, em semelhança com o resultado obtido nessa pesquisa, Mussato e Guimarães (2021) observaram que a maior altura de plantas (26,22 cm) foi obtida aos 74% de disponibilidade hídrica. Em contrapartida, Mesquita et al. (2020), quanto a essa mesma variável, obtiveram uma curva de crescimento linear em função das lâminas de irrigação aplicadas, de forma que o incremento de crescimento da planta de feijão-caupi foi de quase 75% entre a lâmina de maior restrição hídrica para a lâmina plena (100% da ETc). Percebe-se que o caulim pode ter favorecido a altura da planta no tratamento com a lâmina de 75% da ETr, mitigando os efeitos do estresse hídrico moderado.

Em condições de déficit hídrico, as plantas podem apresentar mecanismos fisiológicos que permitem seu desenvolvimento mesmo em condições adversas, sendo os principais mecanismos de preservação da planta a diminuição da área foliar e da altura da planta, assim como a aceleração da senescência e da abscisão foliar sob condições de déficit (Silva et al., 2020). Souza et al. (2024) destaca que os maiores valores de área foliar foram observados diante de lâminas referentes a 86,60 e 73,34% da evapotranspiração da cultura para as diferentes cultivares de feijão-caupi estudadas, com diminuição nos valores dessa variável diante da diminuição da lâmina de irrigação aplicada.

Estudos indicam que a biomassa das leguminosas pode ser prejudicada pelo déficit hídrico, ao passo que o aumento da disponibilidade hídrica apresenta efeito positivo na massa seca da parte aérea, como demonstrado no estudo de Barros et al. (2021) que obteve

o maior valor de massa seca da parte aérea utilizando a lâmina de 100% de disponibilidade hídrica em seu estudo com plantas de feijão-caupi.

Em concordância aos resultados obtidos, Gonçalves et al. (2017) verificaram que houve um aumento significativo da massa seca da parte aérea das plantas de feijão-caupi com a aplicação da maior lâmina de irrigação (150% da Evapotranspiração de referência – ETo). Da mesma forma, Souza et al. (2022) observaram que a produção de matéria seca do caule das plantas de feijão-caupi também sofreu influência da restrição hídrica, indicando que reduções no suprimento hídrico inibem o crescimento do caule.

Alguns autores destacam os resultados positivos da aplicação foliar de caulim no crescimento de culturas agrícolas. Mohamad et al. (2021), estudando os efeitos da aplicação foliar de caulim em plantas de *Paulownia tomentosa*, conhecida como árvore-da-princesa, submetidas a diferentes níveis de irrigação, observaram que os tratamentos com a aplicação foliar de 30g L⁻¹ de caulim resultaram em maior altura de planta, diâmetro de caule e massa seca da planta, atribuindo esse resultado a menor transpiração e maior eficiência no uso da água. Segura-Monroy et al. (2015) apresenta que o tratamento com caulim melhorou a altura das plantas e massa seca total das mudas de *Physalis peruviana* (lanterna chinesa ou Camapu do Amazonas) submetidas a estresse hídrico.

A fase reprodutiva do feijão é mais vulnerável ao déficit hídrico no solo, de forma que qualquer redução no suprimento hídrico refletirá no decréscimo da produtividade, causando não apenas o abortamento de embriões, mas também a perda de folhas e frutos (Soares et al., 2021). Em harmonia com os resultados dessa pesquisa, Souza et al. (2024) apresentaram maiores valores de número de vagens diante do aumento da lâmina de irrigação, destacando que, devido à restrição hídrica, foi possível observar uma redução significativa quanto a essa variável de produção nos diferentes genótipos de feijão-caupi estudados.

Ainda na Tabela 7, observa-se que a irrigação com a lâmina de 100% da ETr proporcionou o maior valor médio da produção total (53,04 g) das plantas quando não aplicado o caulim (L3C0) e as plantas que receberam a aplicação foliar de rejeito de caulim, com o uso dessa mesma lâmina (L3C1), apresentaram os maiores valores médios de comprimento de vagem (22,42 cm) e de número de grãos por vagem (14,03). Quando observados os valores de CMV e de NMG para o tratamento com a mesma lâmina de irrigação, mas sem a aplicação de caulim (L3C0), observa-se um incremento de 1,72% e de 16,62%, respectivamente, obtido pelo uso de rejeito de caulim.

Os menores valores dessas variáveis de produção (PT, CMV e NMG) foram encontradas nos tratamentos com a menor lâmina de irrigação aplicada (50% da ETr), de forma que, comparando com os tratamentos que resultaram nos maiores valores de produção, houve um incremento de 95,35% quanto a produção total, de 12,26% quanto ao comprimento de vagem e de 37,71% quanto número de grãos por vagem.

Observa-se que a lâmina de 100% da ETr proporcionou os maiores valores médios nas variáveis de produção PT, CMV e NMG, indicando o efeito benéfico dessa lâmina na produção de feijão-caupi, suprimindo adequadamente a necessidade hídrica da cultura. Em contrapartida, a lâmina referente a 50% da ETr apresentou os menores valores nas variáveis de produção analisadas, enfatizando que o aumento na produção das plantas de feijão-caupi acompanhou o aumento da disponibilidade hídrica. A aplicação de rejeito de caulim, por sua vez, apesar de beneficiar o comprimento das vagens e o número de grãos por vagem, não proporcionou a maior produção total.

Para a maioria dos genótipos de feijão-caupi, a redução na produtividade de grãos, após o déficit hídrico, pode ser causada pela redução do estado hídrico que diminui a condutância estomática e compromete os processos fotossintéticos, o que compromete a produção das plantas (Melo et al., 2022). Carvalho et al. (2023) destaca que a produtividade do feijão-caupi aumentou significativamente com o aumento da lâmina de irrigação em resposta ao déficit hídrico acumulado, demonstrando que a lâmina de irrigação com 100% da ETc representou o maior rendimento do feijoeiro.

Barros et al. (2021) observaram que a redução da lâmina de água, com aplicação de apenas 25% de disponibilidade hídrica nas fases vegetativas e de floração, reduziu a produção de grãos das plantas de feijão-caupi em 63,33 e 50,76%, respectivamente, quando comparada a 100% de disponibilidade hídrica. Souza et al. (2024) apresentaram que os genótipos de feijão-caupi estudados apresentaram maior número de grãos por vagem a 100% de evapotranspiração da cultura. Soares et al. (2021), estudando diferentes estratégias de manejo de irrigação em função de diferentes doses de adubação potássica, observaram que, sem a aplicação do estresse hídrico ao longo do ciclo da cultura (100% da ETr), a dose estimada de 107% de K₂O resultou no maior comprimento das vagens (14,09 cm).

Apesar da carência de estudos ressaltando os efeitos do rejeito de caulim no cultivo de feijão-caupi, alguns autores relatam os benefícios desse mineral na produção agrícola. Cao et al. (2023), analisando o efeito da aplicação foliar de caulim em videiras, destacam que a pulverização foliar de caulim tem potencial para ser aplicado como agente

antitranspirante para melhorar a qualidade dos frutos em regiões áridas e semiáridas. Brito et al. (2021), avaliando o efeito do caulim em oliveiras, indica que a aplicação foliar de caulim melhorou o desempenho das oliveiras sob déficit sustentado, aumentando o rendimento da colheita, o rendimento do óleo e a estabilidade oxidativa do azeite de oliva.

Observa-se, ainda na Tabela 7, que os tratamentos com a maior restrição hídrica (50% da ETr) obtiveram os maiores valores médios de teor de clorofila *b* (675,87 $\mu\text{g mL}^{-1}$) quando aplicado o rejeito de caulim (L1C1), e quando não foi realizada a aplicação foliar do caulim (L1C0) o tratamento resultou no maior extravasamento de eletrólitos na lâmina foliar (47,09%) das plantas de feijão-caupi. O menor valor médio do teor de clorofila *b* foi obtido com a maior lâmina de irrigação (125% da ETr) e sem a aplicação foliar de rejeito de caulim (L4C0); enquanto para o extravasamento de eletrólitos, a irrigação com a lâmina de 100% da ETr, associado com a aplicação de rejeito de caulim (L3C1), gerou o menor valor médio dessa variável.

No componente principal 2, observa-se na Tabela 7 que os maiores valores médios dos teores de clorofila *a* (1433,84 $\mu\text{g mL}^{-1}$) e clorofila *total* (2109,70 $\mu\text{g mL}^{-1}$) e do teor relativo de água (90,41%) foram encontrados no tratamento L1C1, ou seja, com a utilização da lâmina de 50% da ETr e a aplicação foliar de rejeito de caulim. Em comparação ao tratamento que utilizou a mesma lâmina, mas sem a aplicação de caulim (L1C0), observa-se um incremento de 26% no teor de Cl *a*, de 22,82% no teor de Cl *t* e de 11,24% no TRA, mostrando o efeito positivo da aplicação foliar de rejeito de caulim nessas variáveis fisiológicas diante de déficit hídrico.

Os menores valores médios do teor de clorofila *a* (1136,20 $\mu\text{g mL}^{-1}$), de clorofila *total* (1625,98 $\mu\text{g mL}^{-1}$) e do teor relativo de água (81,28%) foram obtidos, respectivamente, mediante o uso da lâmina de irrigação de 75% da ETr e aplicação foliar de rejeito de caulim (L2C1), a irrigação com 125% da ETr e sem a aplicação de caulim (L4C0), e com a irrigação de 50% da ETr e sem aplicação foliar de rejeito de caulim (L1C0) nas plantas de feijão-caupi.

Plantas submetidas a déficit hídrico apresentam alterações fisiológicas, visto que a diminuição da disponibilidade hídrica reduz o teor de água nos tecidos vegetais, aumentando a temperatura da copa, com redução no teor de clorofila e, conseqüentemente, menor atividade fotossintética (Kumar et al., 2016; Barros et al., 2021). Contudo, observa-se no presente estudo que a aplicação foliar de rejeito de caulim na dose de 50 g L^{-1} promoveu incrementos no teor relativo de água e nos teores de pigmentos fotossintéticos nas plantas de feijão-caupi. Busca-se compreender esses

resultados mediante os estudos realizados com a pulverização foliar de caulim em diferentes espécies agrícolas, visto a ausência de estudos que relacionam a cultura do feijão e a aplicação de rejeito de caulim.

Mahmoudian et al. (2021), estudando os efeitos protetores da pulverização de caulim no rendimento e qualidade de nozes sob duas condições de irrigação (100% e 50% da irrigação regular), observaram que a aplicação foliar de caulim aumentou significativamente o conteúdo de clorofila nas folhas, de forma que as plantas sem pulverização foliar de caulim apresentaram as menores concentrações de clorofila *a*, *b* e *total*. Além disso, os autores destacam que a aplicação de caulim reduziu significativamente os efeitos negativos do estresse hídrico no teor relativo de água das folhas, indicando que a aplicação foliar de caulim reduz a taxa de transpiração e aumenta o conteúdo de água nos tecidos vegetais. Os autores concluem que a aplicação foliar de caulim entre 5 e 7,5% aliviou o efeito negativo do estresse hídrico e melhorou a qualidade dos grãos de nozes sob condições de déficit hídrico, melhorando o conteúdo de clorofila, teor relativo de água, troca gasosa e reduzindo a temperatura da folha.

Mahmoud et al. (2020), estudando os efeitos da aplicação foliar de caulim sobre o crescimento e produção de batata, observaram que os maiores valores de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila *total* foram detectados quando as plantas de batata foram pulverizadas via foliar com caulim na dose de 10 cm³ L⁻¹. Gharaghani et al. (2023), investigando a interação entre a irrigação deficitária e pulverização foliar de caulim no crescimento, rendimento, fisiologia e qualidade da castanha da amêndoa *Tardy nonpareli*, observaram que a pulverização de caulim melhorou a taxa de transpiração, a taxa de fotossíntese, a condutância estomática e o teor de clorofila total em comparação com as plantas que não foram submetidas a aplicação de caulim.

As variáveis de teor de carotenoides (CAR), o índice de grãos (IG) e a massa seca das folhas, por serem autocorrelacionadas, conforme descrito anteriormente, foram apresentadas mediante a análise univariada. Conforme observado na análise de variância (Tabela 8), as estratégias de irrigação e a aplicação foliar de rejeito de caulim não influenciaram significativamente as variáveis CAR e IG. Já em relação à massa seca das folhas (MSF), a aplicação foliar de caulim com a dose de 50 g L⁻¹ afetou significativamente essa variável de forma isolada.

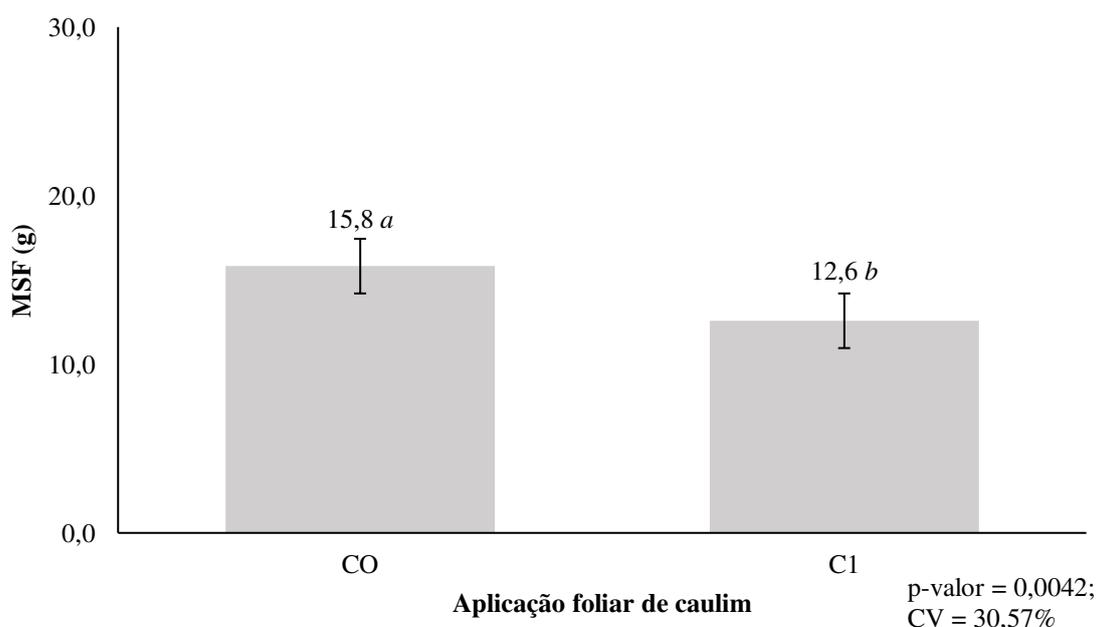
Tabela 8. Resumo da análise de variância para as variáveis teor de carotenoides (CAR), índice de grãos (IG) e massa seca das folhas (MSF) de plantas de feijão-caupi cultivadas sob diferentes estratégias de irrigação e aplicação foliar de rejeito de caulim.

FV	GL	QM		
		CAR	IG	MSF
Lâmina	3	3381,08 ^{ns}	8,57 ^{ns}	28,14 ^{ns}
Caulim	1	77,86 ^{ns}	34,93 ^{ns}	168,09 ^{**}
Lâmina x Caulim	3	7432,61 ^{ns}	27,85 ^{ns}	20,47 ^{ns}
Resíduo	56	4820,65	15,29	18,84
Total	63	-	-	-
CV (%)	-	16,12	4,84	30,57

Fonte: autora (2024). FV – Fonte de variação; GL – Grau de liberdade; CV – Coeficiente de variação; QM – Quadrados médios; ** - Significativo ao nível de 5%; ns – Não significativo.

Observa-se na Figura 5 que, sem a aplicação foliar de rejeito de caulim (C0) nas plantas de feijão-caupi, foi obtido o maior valor médio de massa seca das folhas (MSF), quando comparado a MSF das plantas submetidas a aplicação foliar de rejeito de caulim. Logo, entende-se que a aplicação de rejeito de caulim nas folhas das plantas de feijão-caupi não trouxe efeitos benéficos quanto à fitomassa das folhas dentro das condições avaliadas.

Figura 5. Massa seca das folhas (MSF) aos 45 DAS com (C1) e sem (C0) aplicação foliar de rejeito de caulim.



Fonte: Autora (2024).

Diferentemente desses resultados, Mohamad et al. (2021), analisando o efeito do caulim diante de condições de estresse hídrico nas plantas de *Paulownia tomentosa*,

apresentaram aumento significativo na massa seca das folhas em comparação com as plantas que não receberam a aplicação foliar de caulim. Logo, sabendo que o feijão é uma cultura exigente quanto às características agroclimáticas do local de cultivo, como a temperatura, o fotoperíodo, o vento e a radiação solar, além da disponibilidade hídrica (Bastos et al., 2021), é possível que as plantas de feijão-caupi tenham sofrido outros tipos de estresses não analisados que influenciaram nesse resultado, impedindo o possível efeito positivo do rejeito de caulim na fitomassa das folhas.

As alterações climáticas expõem as plantas de feijão-caupi a diferentes níveis de disponibilidade hídrica, proporcionando efeitos negativos no crescimento, nos aspectos fisiológicos e na produção do feijoeiro dependendo da quantidade de água disponível. Nesse contexto, é fundamental a adoção de medidas mitigadoras dos efeitos causados pelo estresse hídrico, como a aplicação foliar de rejeito de caulim sugerida nessa pesquisa. Contudo, pouco se sabe sobre a interação entre a pulverização foliar de rejeito de caulim e diferentes estratégias de irrigação nas plantas de feijão-caupi. Logo, estudos como estes indicam a necessidade de práticas adequadas de manejo de irrigação durante o ciclo de desenvolvimento do feijão-caupi, associadas ao uso de rejeito de caulim como agente mitigador de estresse hídrico, a fim de proporcionar melhores níveis de crescimento, fisiológicos e de produção da cultura.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A irrigação realizada com a lâmina de 125% da ETr influenciou positivamente no crescimento das plantas de feijão-caupi, enquanto a lâmina de 100% da ETr proporcionou os melhores resultados quanto a produção do feijoeiro.

A pulverização foliar de rejeito de caulim, associado a lâmina de 75% da ETr, proporcionou o maior valor na altura das plantas de feijão-caupi e, quando associado à lâmina de 50% da ETr, promoveu os maiores valores dos teores de clorofila (*a*, *b* e *total*) e o teor relativo de água.

O rejeito de caulim, quando associado à lâmina de irrigação requerida pela cultura (100% da ETr), apesar de proporcionar os maiores valores nas variáveis de comprimento de vagem e número de grãos por vagem, não resultou na maior produção total por planta, obtida no tratamento com a lâmina de 100% da ETr sem a aplicação foliar de rejeito de caulim (L3C0).

As estratégias de irrigação e a aplicação foliar de rejeito de caulim não afetou significativamente o teor de carotenoides e o índice de grãos.

Pode-se concluir ainda que a presente pesquisa resulta em inovação e produz implicações teóricas ao avançar e expor resultados dos efeitos da aplicação foliar de caulim na cultura do feijão-caupi, visto a lacuna teórica de artigos na correlação entre as áreas.

Recomenda-se a realização de novas pesquisas que investiguem a interação do estresse hídrico nos diferentes genótipos e estádios de desenvolvimento do feijão-caupi associado ao uso do resíduo de caulim em diferentes concentrações e frequências de aplicação.

7. REFERÊNCIAS

- ABDALLAH, A. Impacts of Kaolin and Pinolinefoliar application on growth, yield and water use efficiency of tomato (*Solanum lycopersicum L.*) grown under water deficit: A comparative study. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 18, n. 3, p. 256-268, 2017.
- ALMEIDA, K. M., VIDAL, F. W. H., CASTRO, N. F. Melhoria do beneficiamento de caulim do seridó com uso do classificador hidrociclone. **Observatório De La Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 12, p. 23810-23825, 2023.
- ALMEIDA, L. R. C. DE; OLIVEIRA, G. M. DE; ROCHA, D. F., SILVA, B. A. DA; PEREIRA, A. V. A.; OLIVEIRA, W. A. Desempenho produtivo do feijão-caupi “verde” cultivado sob diferentes espaçamentos, em Juazeiro, BA. **Agrometeoros**, v. 27, n. 2, 2020.
- ALVES, J. C., PÔRTO, M. L. A., ARRUDA, J. A., SILVA, J. M. Produção de mudas de paineira em substratos com rejeito da indústria de caulim. **Gaia Scientia**, v. 15, n. 2, p. 123-138, 2021.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. Consumo de água do feijão caupi. **Embrapa**, 2021. Acesso em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao-caupi/producao/irrigacao/consumo-de-agua>>.
- ANDRADE, E. M. G.; SILVA, S. S. da; LIMA, G. S. de; SOARES, L. A. dos A.; SILVA, A. A. R. da; LACERDA, C. N. de. Cultivo inicial de cajueiro anão precoce com água salina e esterco bovino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 17, n. 1, p. 10-16, 2022.
- ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidases in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v.24, p.1-15, 1949.
- BARBOSA, J. R., PEREIRA FILHO, J. V.; OLIVEIRA, V. M. de; SOUSA, G. G. de.; GOES, G. F.; LEITE, K. N. Produtividade da cultura da soja irrigada com déficit hídrico regulado no cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 14, n. 4, p. 4200-4210, 2020.
- BARROS, J. R. A.; GUIMARÃES, M. J. M.; SIMÕES, W. L.; MELO, N. F.; ANGELOTTI, F. Water restriction in different phenological stages and increased temperature affect cowpea production. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 45, n. 1, p. 1-12, 2021.
- BASTOS, E. A. Clima – Feijão Caupi. **Embrapa**, 2021. Acesso em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao-caupi/pre-producao/caracteristicas-e-relacoes-com-o-ambiente/clima>>.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. 9. ed. Viçosa: UFV, 2019. 545 p.
- BESTETE, L. R.; TORRES, J. B.; PEREIRA, F. F. Harmonious interaction of kaolin and two insect predator species in plant protection. **International Journal of Pest Management**, v. 64, n. 2, p. 166-172, 2018.

BRITO, C., GONÇALVES, A., SILVA, E., MARTINS, S., PINTO, L., ROCHA, L., ARROBAS, M., RODRIGUES, M. A., MOUTINHO-PEREIRA, J., CORREIA, C. M. Kaolin foliar spray improves olive tree performance and yield under sustained deficit irrigation. **Scientia Horticulturae**, v. 277, p. 109795, 2021.

CAMPOS, F. L., FREIRE FILHO, F. R., LOPES, A. D. A., RIBEIRO, V. Q., SILVA, R. D., ROCHA, M. D. M. Ciclo fenológico em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.): uma proposta de escala de desenvolvimento. **Revista Científica Rural**, v. 5, n. 2, p. 110-116, 2000.

CAO, X., WANG, Y., WANG, Z. L., TIAN, X. L., HAN, X., WU, D., YAO, F., HUI, M., LI, H., WANG, H. Effects of kaolin particle film coatings on the water-saving efficiency and fruit quality of Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) grape plants in the Ningxia region of China. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 64, n. 3, p. 421-435, 2023.

CARVALHO, E. D. O. T., COSTA, D. L. P., DE OLIVEIRA VIEIRA, I. C., FERREIRA, B. G., & NUNES, H. G. G. C. Crop water stress index of cowpea under different water availability levels in Castanhal-PA. **Revista Caatinga**, v. 35, n. 3, p. 711-721, 2022.

CARVALHO, E. D. O., COSTA, D. L., LUZ, D. B. D., RUA, M. L., VELAME, M. D. L., MONTEIRO, A. C., SANTOS, M. A. Economic indicators for cowpea cultivation under different irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, p. 618-624, 2023.

CHOUDHARY, A. K., KUMAR, S., PATIL, B. S., SHARMA, M., KEMAL, S., ONTAGODI, T. P.; DATTA, S.; PATIL, P.; CHATURVEDI, S. K.; SULTANA, R.; HEGDE, V. S.; CHOUDHARY, S.; KAMANNAVAR, P. Y.; VIJAYAKUMAR, A. G. Narrowing yield gaps through genetic improvement for fusarium wilt resistance in three pulse crops of the semi-arid tropics. **Sabrao Journal of Breeding and Genetics**, v.3, p.341-370, 2013.

COÊLHO, J. D. Caderno setorial do Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE. Agropecuária, **Banco do Nordeste**, ano 8, nº322, 2023.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2023/2024, 10º levantamento, v. 11, n. 10, julho 2024a. Disponível em: https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/53993_a9c7c05b97cdf3deaa19709114884408.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Nova estimativa para a produção de grãos na safra 2023/2024 está em 297,54 milhões de toneladas. CONAB, 2024b. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5579-nova-estimativa-para-a-producao-de-graos-na-safra-2023-2024-esta-em-297-54-milhoes-de-toneladas>.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Produção e balanço de oferta e demanda de grãos. 2024c. Disponível em: https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/53992_345d644b7b9a24036330a74b9a649fdf.

DEMARTELAERE, A. C. F., PRESTON, H. A. F., PRESTON, W., MATA, T. C., COSTA, W. P. L. B., MEDEIROS, D. C., NICOLINI, C., SOUZA, J. B., SILVA, T. P.

P., PAIVA, L. L., MEDEIROS, P. L., MONTE, F. D. M., CAMPOS, F. M. A., SILVA, C. A. O., SILVA, E. S., CANDIDO, D. Controle biológico da murcha de fusarium no feijão caupi. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 4798-4818, 2021.

EKKA, S. K., BAHADUR, V., MISHRA, S., KUJUR, R., KUMAR, M. R., SINGH, R. K. Use of antitranspirants and plant growth regulators in stress management of horticulture crops. **The Pharma Innovation Journal**, v. 11, n. 9, p. 956-962, 2022.

FERREIRA, D. P.; SOUSA, D. P.; NUNES, H. G. G. C.; PINTO, J. V. N.; FARIAS, V. D. S.; COSTA, D. L. P.; MOURA, V. B.; TEIXEIRA, E.; SOUSA, A. M. L.; PINHEIRO, H. A.; SOUZA, P. J. de O. P. Cowpea Ecophysiological Responses to Accumulated Water Deficiency during the Reproductive Phase in Northeastern Pará, Brazil. **Horticulturae**, v. 7, n. 116, p. 1-14, 2021.

FERRREIRA, F. E. P.; & SILVA, V. P. R. Calibration and validation of AquaCrop model for cowpea crop under water stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 2, p. 83-91, 2022.

FREIRE FILHO, F. R., & RIBEIRO, V. Q. Feijão-Caupi na Embrapa Meio-Norte: melhoramento, cultivares lançadas, genealogias e base genética. Brasília, DF. **Embrapa**, 2023.

GHRAGHANI, A., JAVARZARI, A. M., REZAEI, A., NEJATI, R. Kaolin spray improves growth, physiological functions, yield, and nut quality of ‘Tardy Nonpareil’ almond under deficit irrigation regimens. **Erwerbs-Obstbau**, v. 65, n. 4, p. 989-1001, 2023.

GLENN, D. M.; & PUTERKA, G. J. Particle films: a new technology for agriculture. **Horticultural reviews**, v. 31, n. 1, p. 1-44, 2005.

GOMES, A. M. G.; NHANTUMBO, N.; FERREIRA-PINTO, M.; MASSINGA, R.; RAMALHO, J. C.; RIBEIRO-BARROS, A. Breeding Elite Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] Varieties for Improved Food Security and Income in Africa: Opportunities and Challenges. In: ELESAMI, M. H (eds) Legume crops — characterization and breeding for improved food security. **Intech Open**, p. 626–640, 2019.

GONÇALVES, A. L., MAIA, A. Á. B., SANJAD, T. A. B. C., LOUREIRO, A. M. S., COSTA, M. L. D. Emplastro com resíduo de caulim como alternativa à realidade amazônica na salvaguarda dos bens culturais. **Ambiente Construído**, v. 24, p. e132697, 2024.

GONÇALVES, I. S., DA SILVA, R. R., OLIVEIRA, G. M., SANTIAGO, E. J. P., OLIVEIRA, V. E. A. Características fisiológicas e componentes de produção de feijão caupi sob diferentes lâminas de irrigação. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, p. 320-329, 2017.

GOVAERTS, B.; SAYRE, K. D.; LICHTER, K.; DENDOOVEN, L.; DECKERS, J. Influence of permanent planting in high bed and residue management on physical and chemical soil quality in rainfed corn/wheat systems. **Plant and Soil**, v. 291, n. 1, p. 39-54, 2007.

GRIMES, D. W.; CARTER, L. M. A. Linear Rule for Direct Nondestructive Leaf Area Measurements. **Agronomy Journal**, v. 61, n. 3, p. 477-479, 1969.

HAIR, F. J.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. Análise multivariada de dados. 6. ed. 2009. Tradução Adonai Schlup Sant'Anna. Porto Alegre: **Bookman**. 688p. 2009.

HASANUZZAMAN, M. et al. Tolerância das plantas ao estresse ambiental: Papel dos fitoprotetores. CRC Press, Boca Raton, EUA, 2019, 468p.

HERRERA-FEIJOO, R. J. & VÉLEZ, M. C. Caolín em el Control de Plagas Agrícolas: Um Estudio Bibliométrico Global de Tendencias. Colaboraciones y Aplicaciones em la Agricultura Sostenible. **Código Científico Revista de Investigación**, v. 4, n. 2, p. 88-114, 2023.

HOTELLING, H. Multivariate Quality Control Illustrated by Air Testing of Sample Bombsights. In: EISENHART, C., HASTAY, M.W. AND WALLIS, W.A., Eds., **Techniques of Statistical Analysis**, 1947. McGraw Hill, New York, 111-184, 1947.

JALES FILHO, R.C.; MELO, Y. L.; VIÉGAS, P. R. A.; OLIVEIRA, A. P. da S.; ALMEIDA NETO, V. E. de A.; FERRAZ, R. L. de; GHEYI, H. R.; CAROL, P.; LACERDA, C. F. de; MELO, A. S. de. Salicylic acid and proline modulate water stress tolerance in a traditional variety of cowpeas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 1, p. 18-25, 2022.

KAISER, H. F. The application of electronic computers to factor analysis. **Educational and Psychological Measurement**, v. 20, n. 1, p. 141-151, 1960.

KHADOURI, H. K.; KANDHAN, K.; SALEM, M. A. Effects of glycine betaine on plant growth and performance of *Medicago sativa* and *Vigna unguiculata* under water deficit conditions. **Journal of Phytology**, v.12, p.1-8, 2020.

KUMAR, M. Impact of climate change on crop yield and role of model for achieving food security. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 188, p. 1-14, 2016.

LIMA, G. S. de.; GHEYI, H. R.; NOBRE, R. G.; SOARES, L. A. dos A.; XAVIER, D. A.; SANTOS JÚNIOR, J. A. dos. Water relations and gas exchange in castor bean irrigated with saline water of distinct cationic nature. **African Journal of Agricultural Research**, 10:1581-1594, 2015.

MAHMOUD, S. H., EL-TANAHY, A. M. M., EL-SAWY, S. M. Amelioration productivity of potato crop grown under high temperature condition spraying with kaolin and α -tocopherol. **Plant Arch**, v. 20, p. 3568-3575, 2020.

MAHMOUDIAN, M., RAHEMI, M., KARIMI, S., YAZDANI, N., TAJDINI, Z., SARIKHANI, S., VAHDATI, K. Role of kaolin on drought tolerance and nut quality of Persian walnut. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 20, n. 6, p. 409-416, 2021.

MELO, A. S. D., MELO, Y. L., LACERDA, C. F. D., VIÉGAS, P. R., FERRAZ, R. L. D. S., GHEYI, H. R. Water restriction in cowpea plants [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]:

Metabolic changes and tolerance induction. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 3, p. 190-197, 2022.

MELO, F. J. S., MESQUITA ALVES, J., SILVA SEVERO, P. J., SANTOS, L. C., MESQUITA, E. F., SILVA MARCELINO, R. M. O., SANTOS, E. N., ROCHA, J. L. A. Uso de resíduos de mineração como substrato na formação de mudas de (Carica papaya L.). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 45579-45596, 2020.

MESQUITA, A. C., GOMES, L. F., DOS SANTOS JUNIOR, J. B. M., DA SILVA SOUZA, I. J., DA SILVA NOGUEIRA, W. R., FELIX, A. T. R. Bactérias diazotróficas no crescimento inicial e alterações bioquímicas de *Vigna unguiculata* sob déficit hídrico. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e484985641-e484985641, 2020.

MOHAMAD, M. E., AWAD, A. A., GENDY, A. S. Influence of calcium carbonate and kaolin on growth, drought resistance index and physiological traits of *Paulownia* (*Paulownia tomentosa*, Thunb.) seedlings under drought stress conditions. **Plant Archives** (09725210), v. 21, n. 1, 2021.

MPHANDE, W.; KETTLEWELL, P. S.; GROVE, I. G.; FARRELL, A. D. The potential of antitranspirants in drought management of arable crops: A review. **Agricultural Water Management**, v. 236, 2020.

MUSSATO, M. L., & GUIMARÃES, S. L. Inoculação com Estipes de Rizóbio e seus Efeitos sobre Parâmetros Fitométricos da Leguminosa *Dolichos lablab* L. Rongai (1962) Submetido à Disponibilidade Hídrica. **Ensaio e Ciência**, v. 25, n. 4, p. 437-443, 2021.

NARAYANA, M.; ANGAMUTHU, M. Cowpea. In: Pratap, A.; Gupta, S. (ed.). The beans and the peas: From orphan to mainstream crops. **Sawston: Woodhead Publishing**. Chap.11, p.241-272. 2021.

NASCIMENTO, E.; SOUZA, A. R. de; NASCIMENTO, R. do; SILVA, A. A. R. de; BEZERRA, C. V. de C.; LIMA, R. F. de; GUIMARÃES, R. F.; BATISTA, M. C. Co-inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* in cowpea under salt stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 1, p. 3-8, 2022.

NAZIM, M., ALI, M., SHAHZAD, K., AHMAD, F., NAWAZ, F., AMIN, M., ANJUM, S., NASIF, O., ALHARBI, S. A., FAHAD, S. DANISH, S. DATTA, R. Kaolin and Jasmonic acid improved cotton productivity under water stress conditions. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 28, n. 11, p. 6606-6614, 2021.

NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: Métodos de pesquisa em ambiente controlado. Brasília: **EMBRAPA**, 1991. P. 139.

NUNES, E. D. D. S., DE SOUSA, J. S., BRITO, M. E., SILVA, W. C. D., RODRIGUES, E. G., CORDEIRO JUNIOR, J. J. Production efficiency of 'BRS Pujante' cowpea using single and dual Kc for irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, p. 648-654, 2021.

OLIVEIRA, F. de A.; MEDEIROS, J. F. de; ALVES, R. de C.; LIMA, L. A.; SANTOS, S. T. dos; RÉGIS, L. R. de L. Produção de feijão caupi em função da salinidade e regulador de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 1049-1056, 2015.

OLIVEIRA, L. S. B., DE ANDRADE, L. A., DE SOUZA ALVES, A., GONÇALVES, G. S. Substrato e volume de recipiente na produção de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **Nativa**, v. 2, n. 2, p. 103-107, 2014.

ONU – Organização das Nações Unidas. Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. **ONU**, 2024. Acesso em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>.

PIMENTA, L. J. L.; SANTOS, S. R.; BERNARDINO, D. L. M. P.; BARBOSA, J. A. E.; ALVES, A. G. T.; CARVALHO, A. J. Produtividade e eficiência do uso da água de cultivares do feijão-caupi sob irrigação por gotejamento. **Contribuciones a las ciencias sociales**, v. 16, n. 11, p. 26504-26522, 2023.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2023.

RIBEIRO, R. M. R., DE SOUSA, G. G., BARBOSA, A. S., DE LACERDA, C. F., FREIRE, M. H. D. C., MORAES, J. G. L. Irrigation strategies with saline water and phosphate fertilization in cowpea culture. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 17, n. 3, 2022.

ROCHA, M. M. Características da planta Feijão-Caupi. **Embrapa**, 2021. Acesso em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao-caupi/pre-producao/caracteristicas-e-relacoes-com-o-ambiente/caracteristicas-da-planta>>.

RODA, N. M.; PONTIN, J. C.; BRANCHI, B. A.; LONGO, R. M. Uso de caulim processado como técnica sustentável de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas na produção agrícola. **REUNIR: Revista de Administração, Ciências Contábeis e Sustentabilidade**, v. 13, n. 1, p. 171-183, 2023.

SANTOS, J. S. I. DOS; SILVA, A. A. R. DA; NÓBREGA, A. R. S.; LIMA, M. G. M. DE; ARAÚJO, M. S. DE F.; SILVA, V. F.; PAIVA, J. P. DE A.; SOUZA, T. R. A. DE; NÓBREGA, P. I. S. DA; GOUVEIA, D. S.; COSTA, M. V. P. DA. Cultivo irrigado de beterraba em solo salino sódico sob aplicação foliar de rejeito de caulim. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 5, p. e3775-e3775, 2024.

SCOTTI-CAMPOS P.; PHAM-THI, A. T.; SEMEDO, J. N.; PAIS, I. P.; RAMALHO, J. C.; MATOS, M. do C. Physiological responses and membrane integrity in three Vigna genotypes with contrasting drought tolerance. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, 25(12):1002-1013, 2013.

SEGURA-MONROY, S., URIBE-VALLEJO, A., RAMIREZ-GODOY, A., RESTREPO-DIAZ, H. Effect of kaolin application on growth, water use efficiency, and leaf epidermis characteristics of *Physallis peruviana* seedlings under two irrigation regimes. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 17, n. 6, p. 1585-1596, 2015.

SHARMA, R. R.; REDDY, S. V. R., DATTA, S. C. Particle films and their applications in horticultural crops. **Applied Clay Science**, v. 116–117, p. 54–68, 2015.

SHIMIZU G.; MARUBAYASHI R.; GONCALVES L. _AgroR: Experimental Statistics and Graphics for Agricultural Sciences_. R package version 1.3.6, <<https://CRAN.R-project.org/package=AgroR>>. 2024.

SILVA, A. D. R. DA; LIMA, G. S. DE; AZEVEDO, C. A. V. DE; ARRUDA, T. F. DE L.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. DOS A. Salicylic acid attenuates the harmful effects of salt stress on the morphophysiology of early dwarf cashew. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 47, p. e015622, 2023.

SILVA, A. L., BATISTA, P. S. C., OLIVEIRA, K. J. O., CRUZ, C. A., CANGUSSU, L. V. S., SANTIAGO, W. E. Agronomic performance of cowpea cultivars in different populations. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v. 10, n. 1, p. 193-198, 2020.

SILVA, B. R., JÚNIOR, H. S. M., SANTOS, A. M. S., DA SILVA FILHO, A. J., DE OLIVEIRA, H. A. Desenvolvimento de argamassas de reboco com a incorporação de caulim. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia-ISSN: 1984-5693**, v. 13, 2021.

SOARES, L. A. DOS A.; MEDEIROS, T. L. F.; COLMAN, V. C. G.; PALMEIRA, I. V. DE S.; SILVA, I. J. DA; MOREIRA, R. C. L. Estratégias de irrigação com déficit hídrico nos estádios fenológicos do feijão-caupi sob adubação potássica. **Irriga**, v. 26, n. 1, p. 111-122, 2021.

SOUSA, A. P. F., DE FARIAS, C. G., DE BITTENCOURT PASQUALI, M. A., DE AQUINO MOURA, I. B., DE ARAÚJO, S. M. S., & DE ARAÚJO FERREIRA, D. D. Aproveitamento do caulim e proposta para recuperação da área minerada no Sítio Galo Branco, Equador, RN. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 17, p. e219101724179-e219101724179, 2021.

SOUZA, P. J. O. P., RAMOS, T. F., FIEL, L. D. C. S., NUNES, H. G. G. C., FARIAS, V. D. D. S., SOUSA, D. D. P. Partição de assimilados no feijão-caupi irrigado por gotejamento em Castanhal-PA. **Irriga**, v. 27, n. 1, p. 64-78, 2022.

SOUZA, P. J., FARIAS, V. D. D. S., PINTO, J. V., NUNES, H. G., SOUZA, E. B. D., FRAISSE, C. W. Yield gap in cowpea plants as function of water deficits during reproductive stage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 6, p. 372-378, 2020.

SOUZA, T. M. A. DE; SOUTO, L. S.; DUTRA FILHO, J. DE A.; SANTOS, C. S. DE A.; SILVA, L. DE A.; PEIXOTO, T. D. C.; SÁ, F. V. DA S. Cowpea growth and production under water stress and soil mulching. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 28, p. e271643, 2024.

STATSOFT, Inc. Statistica (data analysis software system), version 7, 2004.

TEIXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A., TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3 ed. Brasil. **Embrapa Solos**. 573 p. 2017.

TEKER, T. A study of kaolin effects on grapevine physiology and its ability to protect grape clusters from sunburn damage. **Scientia Horticulturae**, v. 311, p. 111824, 2023.